

**Chris Rezek**

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Elektromobilität

eingereicht als

**D I P L O M A R B E I T**

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA**  

---

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Wirtschaftswissenschaften

Graz, 2012

Erstprüfer: Prof. Dr. rer.oec. Johannes N. Stelling

Zweitprüfer: Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Viktor Hacker

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am: 04.05.2012

## **Autorenreferat**

Rezek, Chris:

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Elektromobilität. - 2012. - 60 Seiten, Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2012.

### **Referat:**

Benzin oder Diesel? Erdgas oder Biosprit? Akkumulatoren, Hybrid oder doch Brennstoffzellen? Autokäufer stehen oft vor dieser schwierigen Entscheidung, vor allem wenn es um die Anschaffung eines Neuwagens geht, und der Markt eine Reihe von unterschiedlichsten Möglichkeiten der Fortbewegung bietet. Besonders seit Beginn des 21. Jahrhunderts wird der Umweltgedanke großgeschrieben. Doch wer wirklich einen sauberen Beitrag zum Klimaschutz leisten will und ein Fahrzeug mit sauberer Antriebstechnik sucht, steht vor einem Rätsel. Ziel der Diplomarbeit ist es, die gegenwärtige Situation sowie die Rahmenbedingungen für E-Mobilität zu analysieren, Alternativantriebe zu vergleichen und zu ermitteln, wie ökonomisch Elektrofahrzeuge im Alltagsgebrauch wirklich sind.

## Inhaltsverzeichnis

Autorenreferat.....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Globaler Energieverbrauch.....	3
2.1 Entwicklung der Energiepreise .....	7
2.1.1 Rohölpreis.....	7
2.1.2 Historische Ölpreisentwicklung in Österreich.....	8
2.1.3 Strompreis .....	10
2.1.4 Historische Strompreisentwicklung in Österreich.....	11
2.2 Zukünftige Ölversorgung und Abhängigkeit.....	13
2.3 Umweltauswirkungen.....	18
3 Stand der Technik .....	22
3.1 Rahmenbedingungen E-Mobilität.....	22
3.1.1 Klimagasemissionen in Österreich.....	24
3.1.2 Fahrverhalten.....	25
3.1.3 Energieerzeugung .....	26
3.1.4 Anforderung an Batteriesysteme .....	32
3.1.5 Ressourcenverfügbarkeit.....	34
4 Alternative Antriebe .....	36
4.1 Elektrofahrzeuge.....	38
4.1.1 Arten von Akkumulatoren .....	40
4.1.2 Energiespeichervergleich .....	47
4.2 Brennstoffzelle-Hybrid.....	49
4.3 VKM-Hybrid .....	51
5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	52
5.1 Grundparameter.....	52
5.2 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 1 .....	56
5.3 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 2.....	57

---

5.4 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 3.....	58
6 Schlussbemerkung und Ausblick.....	59
Literaturverzeichnis .....	IX
Anhang .....	XII
Eidesstattliche Erklärung .....	XVI

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PEV der Welt und EU-27 nach Energieträger.....	3
Abbildung 2: Entwicklung des globalen Primärenergieverbrauchs in Mtoe von 1971 bis 2007 .....	4
Abbildung 3: Vergleich globaler Primärenergieträger von 1973 und 2007.....	4
Abbildung 4: Ausblick PEV 2030 .....	5
Abbildung 5: Vergleich möglicher Primärenergieträger im Jahr 2030.....	5
Abbildung 6: Prognosen für den Rohölpreis a) real 2005er Preise b) nominal in \$/bl.....	8
Abbildung 7: Entwicklung der Energiepreise für Mineralölprodukte.....	8
Abbildung 8: Entwicklung weltweite Gesamtstromerzeugung in TWh .....	10
Abbildung 9: Stromproduzierende sowie Netz exportierende und importierende Länder im Jahr 2007.....	11
Abbildung 10: Entwicklung der Energiepreise für leitungsgebundene Energieträger ....	12
Abbildung 11: Entwicklung der Ölfunde und der Ölförderung.....	13
Abbildung 12: Weltölreserven nach Schätzung EWG.....	15
Abbildung 13: Typisches Förderprofil einer Ölregion.....	15
Abbildung 14: Öl produzierende Länder außerhalb der OPEC.....	16
Abbildung 15: Zukünftige weltweite Ölförderung .....	17
Abbildung 16: Gesamtfahrzeugbestand und Bevölkerungsentwicklung bis 2050.....	18
Abbildung 17: Entwicklung weltweiter Treibhausgasemissionen in Mt CO <sub>2</sub> .....	19
Abbildung 18: Entwicklung CO <sub>2</sub> Emissionen nach Verursacher .....	19
Abbildung 19: Dekarbonierungsziel der EU bis 2050 in Gt CO <sub>2</sub> pro Jahr .....	20
Abbildung 20: Weltenergieverbundene Treibhausgasemissionen im 450 Szenario in Gt CO <sub>2</sub> .....	21
Abbildung 21: Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen neuer PKWs gemäß 450 Szenario.....	21

---

Abbildung 22: Modell Elektromobilität in Österreich .....	23
Abbildung 23: Vergleich Summen der CO <sub>2</sub> Emissionen bis 2050.....	24
Abbildung 24: Energiebereitstellung für Elektromobilität .....	26
Abbildung 25: Antriebskonzepte im Vergleich ihrer CO <sub>2</sub> Emissionen .....	27
Abbildung 26: Summe des errechneten Energiebedarfs in MWh durch Elektromobilität .....	31
Abbildung 27: Key-Performance-Parameter Batteriesysteme .....	33
Abbildung 28: Batterietechnologie im Zusammenhang .....	34
Abbildung 29: Die Vielfalt elektromobiler Antriebskonzepte .....	37
Abbildung 30: Know-how-Verteilung bei Antriebstechnologien.....	38
Abbildung 31: Ragone Plott Diagramm .....	40
Abbildung 32: Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterietypen .....	42
Abbildung 33: Wohlfühltemperatur von Batteriezellen .....	43
Abbildung 34: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Antriebskonzepte .....	48
Abbildung 35: Kostenverlauf Variante 1 .....	56
Abbildung 36: Kostenverlauf Variante 2 .....	57
Abbildung 37: Kostenverlauf Variante 3 .....	58

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Endverbraucherpreis für Eurosuperbenzin .....	9
Tabelle 2: Endverbraucherpreis für Elektrizität .....	12
Tabelle 3: Geschätzte Ölreserven und jährliche Förderung .....	14
Tabelle 4: Umweltauswirkungen der Stromproduktion in Österreich .....	29
Tabelle 5: Stromerzeugungsunternehmen und ihre CO <sub>2</sub> Emissionen .....	30
Tabelle 6: Energiespeicher im Vergleich .....	47
Tabelle 7: Basisdaten E-Auto .....	52
Tabelle 8: Basisdaten VKM .....	54

---

## Abkürzungsverzeichnis

AN .....	Anschaffungskosten
AT .....	Österreich
bl.....	Barrel
bspw. ....	Beispielsweise
ca.....	circa
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
DC .....	Gleichstrom
dzt.....	derzeit
E-Auto .....	Elektroauto
E-Mobilität.....	Elektromobilität
EU .....	Europäische Union
EWG.....	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
Gb.....	Gigabarrel
GuD .....	Gas- und Dampfturbinen Kraftwerk
HEV .....	Hybrid Electric Vehicle
IEA.....	Internationale Energieagentur
Kfz .....	Kraftfahrzeug
kg.....	Kilogramm
km.....	Kilometer
km/h.....	Kilometer pro Stunde
kWh .....	Kilowattstunde
Mb .....	Millionbarrel
Mtoe .....	Megatonne Öläquivalent
ND .....	Nutzungsdauer



---

NGL .....	Flüssiggas (Natural Gas Liquide)
Obusse .....	Oberleitungsbusse
OPEC .....	Organisation erdölexportierender Länder
p.a. ....	pro Jahr
Pb-Akku .....	Bleiakkumulator
PEV .....	Primärenergieverbrauch
PHEV.....	plug in hybrid electric vehicle
PKWs .....	Personenkraftwagen
ppm .....	parts per million
SUV .....	Sport Utility Vehicle
TE.....	tausend Einheiten
to .....	Tonne
TWh.....	Terrawattstunde
VKM.....	Verbrennungskraftmaschine
Wh .....	Wattstunde
z.B. ....	zum Beispiel
€ .....	Euro
\$ .....	Dollar
°C .....	Grad Celsius

## 1 Einleitung

Elektromobilität ist schon lange kein Fremdwort mehr. Jeder kennt inzwischen diesen allgegenwärtigen Begriff. Beispielsweise fallen strombetriebene Fahrzeuge wie Straßenbahnen, Obusse, Züge und Flurförderfahrzeuge unter diesen Begriff. Im Gegensatz zu diesen schienengebundenen Fortbewegungsmöglichkeiten sind Fahrzeuge, die die elektrische Energie während der Fahrt nicht von einer Leitung beziehen, sondern aus einem Energiespeicher, stark im Kommen. Hierbei ist die Rede von Elektrofahrzeugen, kurz E-Autos genannt. Bei diesen speziellen Fahrzeugen wird die elektrische Energie in Akkumulatoren gespeichert. Die Reichweite und somit auch die Einsatzmöglichkeiten des Vehikels werden durch die Speicherfähigkeit des Akkus bestimmt. Die Infrastruktur spielt dabei eine maßgebende Rolle, um einen sinnvollen und wirtschaftlichen Nutzen überhaupt erst geltend machen zu können. Die Mobilität ist stark vom Energieverbrauch des Fahrzeugs, von der Speicherkapazität und der Ladezeit des Akkus und dessen Gewicht abhängig. Der Nutzungsradius wird zudem durch den Abstand der E-Tankstellen beeinflusst. Abgesehen von den technischen Herausforderungen, die das E-Auto mit sich bringt, ist ein Umdenken in Sachen Umwelt und Ressourcenverfügbarkeit zwingend notwendig, da die fossilen Brennstoffe nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen. Mit der steigenden Weltbevölkerung, nimmt der weltweite Energieverbrauch zu und durch die entstehenden Emissionen kommt es zu einer erhöhten Umweltbelastung. Obwohl die Verbrennungskraftmaschinen bereits über Jahrzehnte entwickelt und optimiert wurden, wird es auch in Zukunft keinen mit fossilen Brennstoffen betriebenen Motor ohne gesundheitsschädliche Emissionen geben. Diese Tatsache sollte die Menschheit zum Umdenken motivieren. Es stellt sich nun die Frage, ob aus heutiger Sicht, Elektroautos geeignet sind, um dieses Problem zu lösen.

Grundlegendes Ziel dieser Diplomarbeit ist es, anhand der aktuellen und zukünftig zur Verfügung stehender Ressourcen, unter Betrachtung der steigenden Rohstoffpreise, und der gegebenen technischen Möglichkeiten den Einsatz eines batteriebetriebenen Fahrzeugs zu bewerten. Dazu soll im ersten Schritt der weltweite Energieverbrauch analysiert, und die in 20 Jahren benötigten Verbräuche ermittelt werden. Die zugleich steigenden Rohstoffpreise spielen bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eine maßgebende Rolle und werden deshalb separat behandelt. Wichtigster Bestandteil des Elektroautos ist der Energiespeicher. Welcher Typ von Akkumulator sich am besten für

---

den Einsatz eignet, wird im Zuge der Arbeit ermittelt. Weiters werden der Aufbau und der Technologiestand der E-Autos, sowie die alternativen Antriebe mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert. Zum Abschluss wird ein Elektrofahrzeug, das seit Dezember 2010 am europäischen kommerziell Markt verfügbar ist, mit einem Referenzauto, das mit einem Verbrennungskraftmotor, vergleichbarer Leistung ausgestattet ist, verglichen.

## 2 Globaler Energieverbrauch

Der globale Primärenergieverbrauch ist in den letzten Jahrzehnten eklatant angestiegen. Besonders in den Jahren 1990 bis 2005 ist eine Steigerung von über 30 % zu vermerken. Grund für diesen enormen Anstieg ist das hohe Weltwirtschaftswachstum. Im Jahr 2005 betrug der weltweite Energieverbrauch rund 11.500 Mtoe, dies entspricht eine Steigerung von 2001 auf 2005 um etwa 1,8 % pro Jahr. Der hohe Anteil der fossilen Energieträger am PEV von ca. 80 % hat sich in den letzten 15 Jahren kaum verändert. Platz eins, mit einem Anteil von 35 % am Gesamt-PEV, gebührt nach wie vor dem Erdöl. Dahinter kommt die Kohle mit 25 %, gefolgt von Gas mit 21 %. Biomasse hat den beachtlichen Anteil von 10 %.

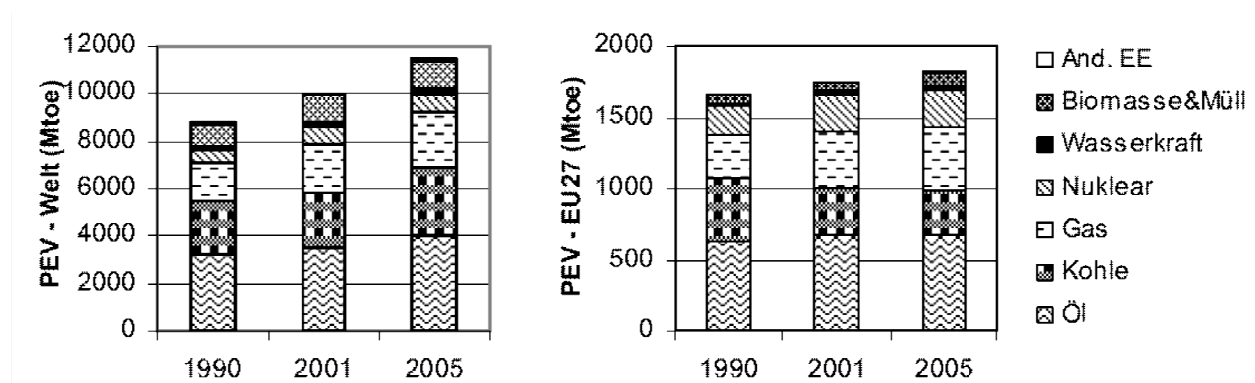


Abbildung 1: PEV der Welt und EU-27 nach Energieträger<sup>1</sup>

In Abbildung 1 ist ersichtlich, dass die Zunahme des Energieverbrauchs in der Europäischen Union zwischen 1990 und 2005 mit 9,7 % wesentlich unter dem Wachstum des weltweiten Energieverbrauches geblieben ist. Jährlich gesehen entspricht das einem Wachstum von 0,6 %. In der EU-27 war im Jahr 2005 das Erdöl mit einem Anteil von 37 % die wichtigste Primärenergiequelle, gefolgt von Erdgas (25 %), Kohle (19 %), Kernenergie (14 %) und Biomasse inklusive Müll mit einem Anteil von 5 %.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Wietschel (2010) S. 43

<sup>2</sup> Vgl. Wietschel (2010) S. 43 f

Diese Eckdaten bestätigt auch die Studie der Internationalen Energieagentur, World Energy Outlook 2007. Abbildung 2 zeigt den kontinuierlichen, weltweit steigenden Energieverbrauch in Mtoe.

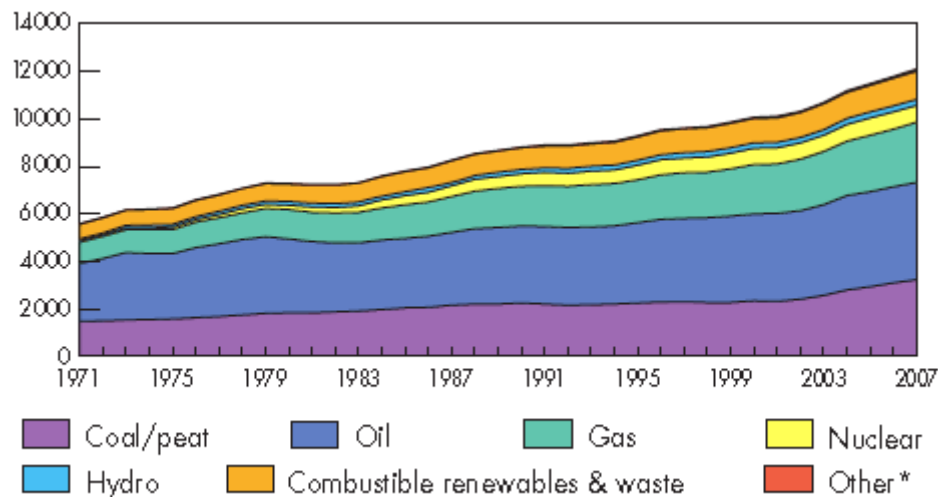


Abbildung 2: Entwicklung des globalen Primärenergieverbrauchs in Mtoe von 1971 bis 2007<sup>3</sup>

Laut Abbildung 3 betrug im Jahr 1973 der weltweite Primärenergieverbrauch 6.115 Mtoe, und dieser hat sich bis zum Jahr 2007 nahezu auf 12.029 Mtoe verdoppelt, wobei der prozentuelle Anteil an fossilen Hauptenergieträgern zwischen 2005 und 2007 nahezu ident blieb. Der Ölverbrauch im Jahr 2007 beziffert sich auf 4.090 Mtoe.

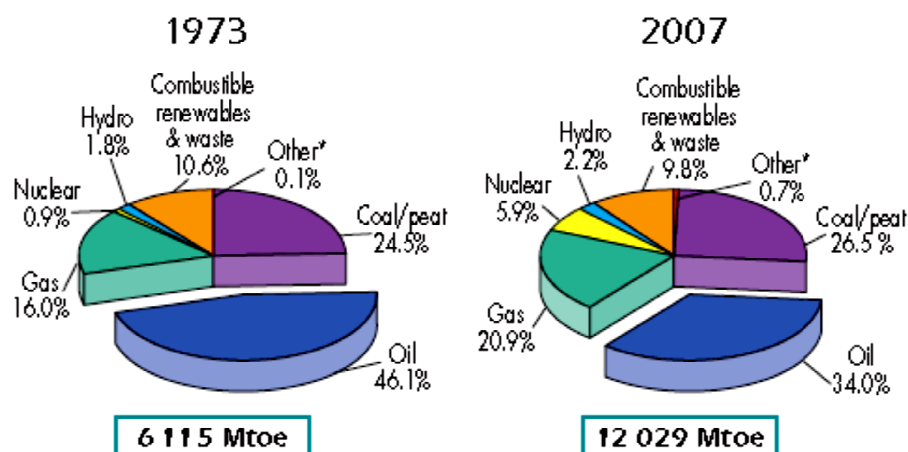


Abbildung 3: Vergleich globaler Primärenergieträger von 1973 und 2007<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Vgl. IEA (2009) S. 6

<sup>4</sup> Vgl. IEA (2009) S. 6

Der World Energy Outlook kommt zu dem Ergebnis, dass der Weltenergieverbrauch in den kommenden Jahren unaufhaltsam weiter ansteigen wird. Wie hoch der prognostizierte Energieverbrauch im Jahr 2030 ausfällt, wird in Abbildung 4 graphisch gezeigt.

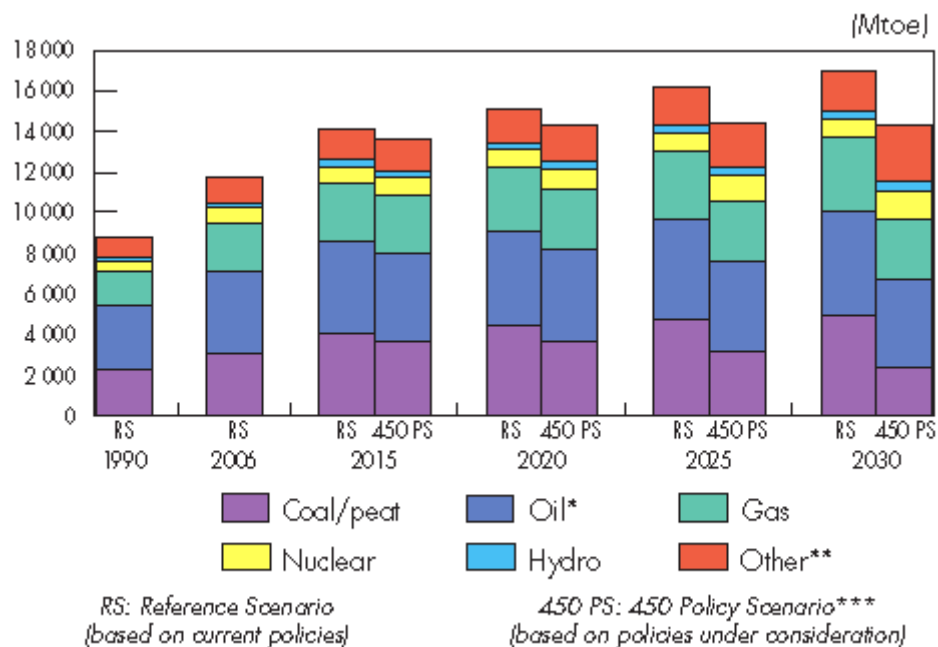


Abbildung 4: Ausblick PEV 2030<sup>5</sup>

Je nach den gesetzten Rahmenbedingungen steigt der globale PEV im Jahr 2030 auf 17.014 Mtoe im „Reference Scenario“ bzw. auf 14.361 Mtoe im „450 Policy Scenario“. Zurückzuführen ist dies vor allem auf das Bedarfswachstum in China und Indien.

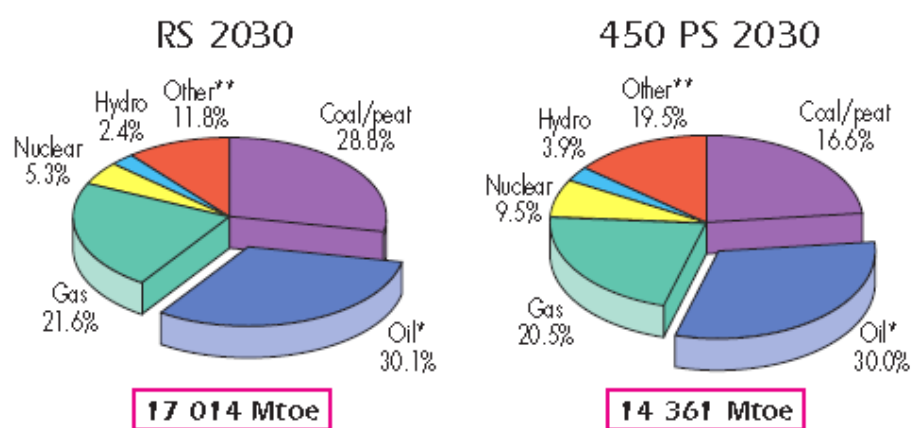


Abbildung 5: Vergleich möglicher Primärenergieträger im Jahr 2030<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Vgl. IEA (2009) S. 46

Lt. Abbildung 5 wird der globale Ölverbrauch im Jahr 2030 im Referenzszenario RS 2030 auf ca. 5.121 Mtoe ansteigen. Dies würde einen weiteren Anstieg von 25 % bedeuten und nach wie vor würde der fossile Brennstoff Öl der wichtigste Energieträger sein, selbst wenn erneuerbare Energien immer mehr an Bedeutung gewinnen würden.

Das Szenario RS 2030 spiegelt die Entwicklung des globalen Energiebedarfs, ohne Eingriff politischer Maßnahmen wider („business as usual“). Dabei würde sich im Durchschnitt der weltweite Energiebedarf um ca. 1,5 % pro Jahr erhöhen und der Anstieg des PEV würde gesamt gesehen bei 40 % liegen.

Im 450 Szenario werden gezielt umweltpolitische Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen gesetzt, die die durchschnittliche globale Temperaturerhöhung auf maximal + 2 °C beschränken sollen. Dazu darf der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre maximal 450 ppm betragen.

---

<sup>6</sup> Vgl. IEA (2009) S. 46

## 2.1 Entwicklung der Energiepreise

Alle Szenarien gehen von einem Anstieg der Energiepreise aus. Neben den immer knapper werdenden Ressourcen gibt es noch eine Vielzahl von Ursachen, die die Energiepreise beeinflussen.

Hauptindikatoren sind die fossilen Energieträger wie etwa Erdöl, Erdgas und Kohle, wobei davon auszugehen ist, dass der Ölpreis die Hauptgrundlage für die Preisbildung sein wird.

### 2.1.1 Rohölpreis

Die in Abbildung 6 dargestellten Szenarien zur Entwicklung des Ölpreises basieren auf Prognosen, die die vergangenen Preisentwicklungen bis 2006 berücksichtigen. Aufgrund des hohen Anstiegs der Primärenergiepreise, insbesondere des Rohölpreises in den letzten Jahren wurde ein weiteres Szenario simuliert, indem die IEA ihre Ölpreisprognose im World Energy Outlook 2008 (WEO 2008) auffallend nach oben korrigierte. Somit ergibt sich ein realistischer Rohölpreis von über 120 \$/bl für das Jahr 2030. Als Vergleichswert der Vorjahresstudie (WEO 2007) würde für selbiges Prognosejahr der Rohölpreis unter sagenhaften 60 \$/bl liegen. Unter Annahme extremer Ölengpässe aufgrund erschöpfter Ressourcen steigt der Rohölpreis am stärksten und würde lt. einem Ressourcenverknappungs-Szenario wie in Abbildung 6 dargestellt, im Jahr 2020 bei horrenden 250 \$/bl liegen. Dies entspricht einem Wachstum von 7 % p.a. In den laufenden Jahren bleibt der Ölpreis stets über der Marke von 200 \$/bl. Aus der Darstellung kann man eine hohe Streuung der Prognosen erkennen, was auf die hohen Preisschwankungen und fraglichen Angaben über tatsächlich vorhandene Reserven und zukünftigen Fördertechnologien zurückzuführen ist.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Vgl. Wietschel (2010) S. 57 f



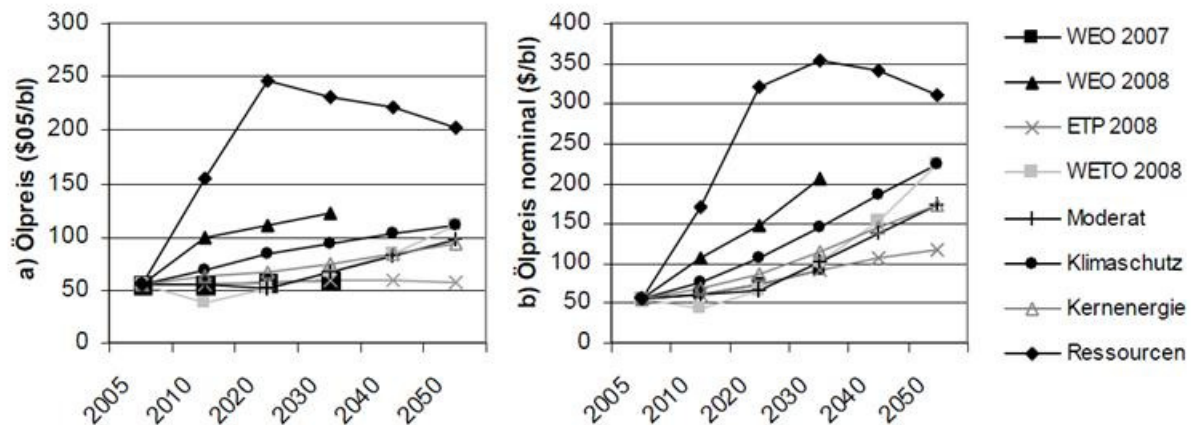


Abbildung 6: Prognosen für den Rohölpreis a) real 2005er Preise b) nominal in \$/bl<sup>8</sup>

## 2.1.2 Historische Ölpreisentwicklung in Österreich

Betrachtet man den Verlauf der Kurven in Abbildung 7, erkennt man einen stetigen Anstieg der Mineralölpreise der letzten 40 Jahre. Die Fortsetzung dieses Trends wird auch in den nächsten Jahren und Jahrzehnten erwartet.

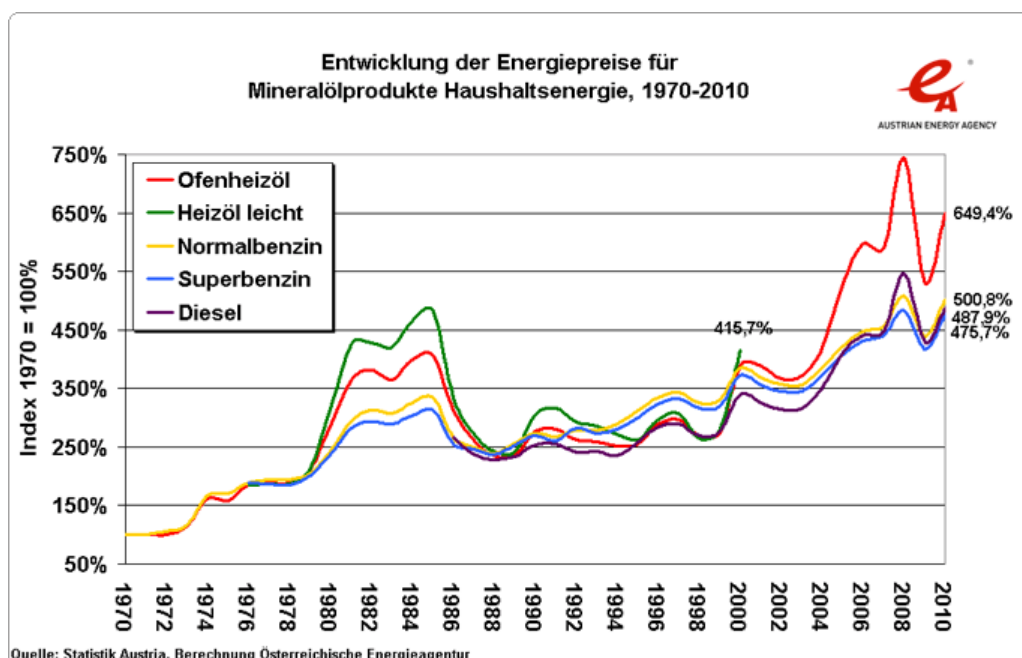


Abbildung 7: Entwicklung der Energiepreise für Mineralölprodukte<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Vgl. Wietschel (2010) S. 58

Die Tabelle 1 zeigt die Preisentwicklung von Superbenzin der vergangenen Jahre. In Österreich gab es eine jährliche Zunahme in Höhe von 3,23 %.

Tabelle 1: Endverbraucherpreis für Eurosuperbenzin<sup>10</sup>

€/kWh	AT	FI	DE	CZ	HU	IT	ES	CH
1985	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,686
1990	0,719	0,648	0,604	n.a.	n.a.	0,751	n.a.	0,61
1995	0,821	0,817	0,793	0,553	0,588	0,889	0,642	0,735
2000	0,942	1,135	1,015	0,807	0,894	1,081	0,819	0,9
2001	0,904	1,109	1,024	0,803	0,879	1,053	0,807	0,895
2002	0,874	1,075	1,048	0,798	0,918	1,048	0,814	0,882
2003	0,881	1,096	1,093	0,779	0,92	1,06	0,817	0,863
2004	0,948	1,141	1,136	0,836	0,952	1,126	0,869	0,908
2005	1,034	1,211	1,223	0,956	1,05	1,22	0,955	0,986
2006	1,091	1,288	1,289	1,044	1,053	1,285	1,02	1,045
2007	1,121	1,298	1,341	1,062	1,101	1,298	1,035	1,025
2008	1,209	1,423	1,403	1,213	1,164	1,379	1,108	1,125
2009	1,045	1,284	1,295	1,03	1,014	1,232	1,002	0,999
2010	1,183	1,416	1,413	1,227	1,25	1,355	1,155	1,128

<sup>9</sup> Vgl. [http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/image/Energie\\_in\\_Zahlen/mineraloel-1970.gif](http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/image/Energie_in_Zahlen/mineraloel-1970.gif)

<sup>10</sup> Vgl. <http://www.energyagency.at/energie-in-zahlen/energiepreise/endverbraucherpreise/haushalte.html>

### 2.1.3 Strompreis

Betrachtet man den weltweiten Verbrauch an Erdöl und die damit verbundene Preissteigerung in Abhängigkeit der immer knapper werdenden Ressourcen, geht eine Steigerung der Energiekosten im Bereich Elektrizität hervor. Wie bei der vorhergehenden Betrachtung des Konsums an globalen fossilen Primärenergieträgern, ist ein genauso starker Trend für den weltweit wachsenden Strombedarfes zu erkennen.

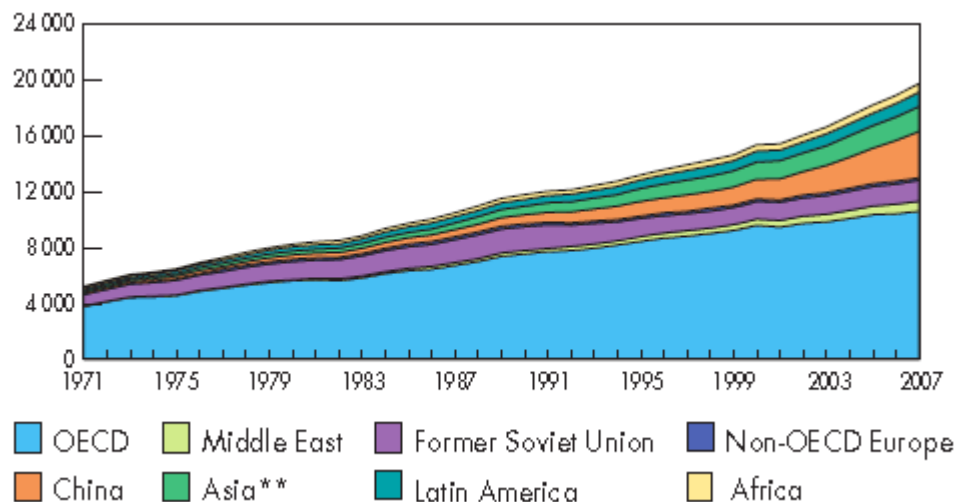


Abbildung 8: Entwicklung weltweite Gesamtstromerzeugung in TWh<sup>11</sup>

Im Zeitraum zwischen 1971 und 2007, wurde die globale Stromerzeugung von 6.116 TWh auf 19.771 TWh erhöht, um den jährlichen Energiebedarf zu befriedigen. Gut zu erkennen ist dies in Abbildung 8.

Den wichtigsten Stromlieferanten stellt dabei die USA. Im Jahr 2007 produzierten die Vereinigten Staaten knapp 22 % des weltweiten Strombedarfs.

Weiters ist aus der Abbildung 9 die Abhängigkeit Österreichs von Stromimporten zu erkennen. Zum Stand von 2007 reichten die Eigenproduktion nicht aus, um den Jahresgesamtenergiebedarf an Strom wirtschaftlich abdecken zu können. Es wurden 7 TWh importiert. Um diese Abhängigkeit zu minimieren, ist es notwendig in den Ausbau neuer Kraftwerke zu investieren. Beeinflusst wird der europäische Strompreis auch durch Kosten des Handels mit Emissionsrechten, die das Ansteigen des Preises mit verursachen.

<sup>11</sup> Vgl. IEA (2009) S. 26

Producers*	TW/h	% of world total	Net exporters	TW/h	Net importers	TW/h
United States	4 323	21.9	France	57	Italy	46
People's Rep. of China	3 279	16.6	Paraguay	45	Brazil	39
Japan	1 123	5.7	Canada	25	United States	31
Russian Federation	1 013	5.1	Germany	17	Netherlands	18
India	803	4.1	Czech Republic	16	Finland	13
Canada	640	3.2	Russian Federation	13	Argentina	8
Germany	630	3.2	People's Rep. of China	10	Portugal	7
France	564	2.9	Norway	10	HongKong (China)	7
Brazil	445	2.3	Ukraine	9	Belgium	7
Korea	426	2.2	Spain	6	Austria	7
Rest of the world	6 525	32.8	Others	47	Others	71
<b>World</b>	<b>19 771</b>	<b>100.0</b>	<b>Total</b>	<b>255</b>	<b>Total</b>	<b>254</b>

Abbildung 9: Stromproduzierende sowie Netz exportierende und importierende Länder im Jahr 2007<sup>12</sup>

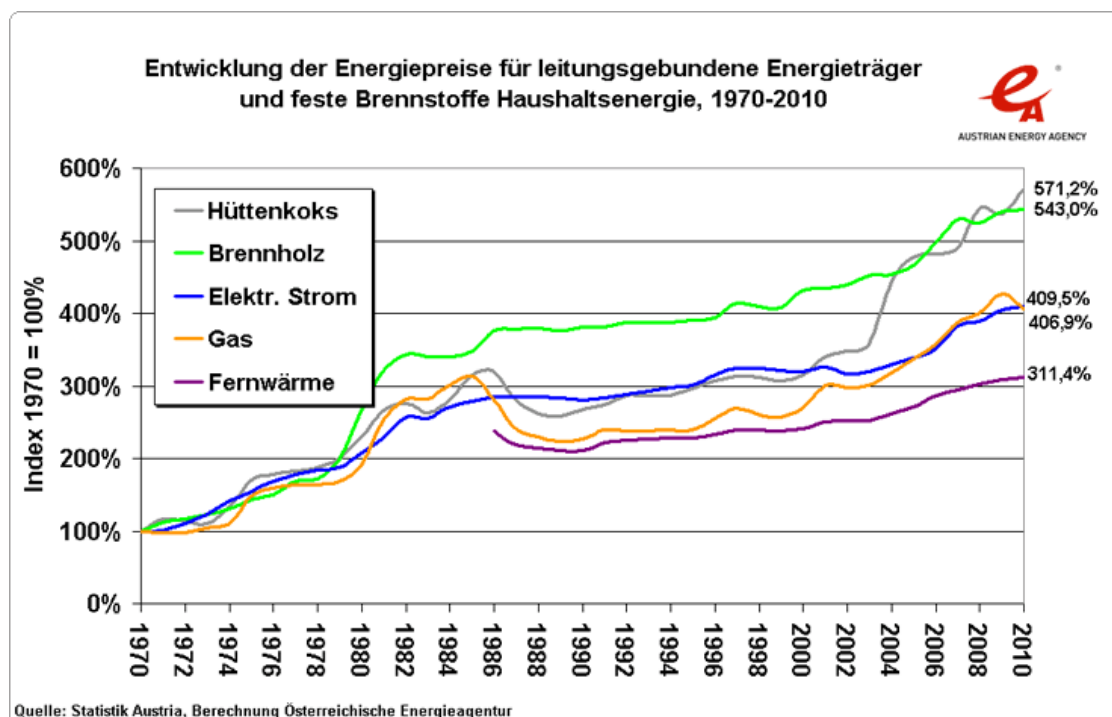
#### 2.1.4 Historische Strompreisentwicklung in Österreich

Der Strompreis wird auch in Zukunft abhängig von der Entwicklung des Ölpreises sein, besonders wenn der Ölpreis länger andauernde Höchststände, als in der Vergangenheit verzeichnet. Grund dafür sind die künftig nicht mehr zu erwartenden, preisdämpfenden Effekte des Marktes. Negativ beeinflusst wird der Anstieg mitunter von Stilllegungen von unprofitablen und veralteten Kraftwerken.<sup>13</sup>

Einer der Hauptgründe für die erwarteten Preissteigerungen wird jedoch die wachsende Stromnachfrage sein. Das Angebot und die Nachfrage steuern den Preis des Produktes. In Abbildung 10 ist der Strompreisanstieg in Österreich ersichtlich. Innerhalb von 40 Jahren hat sich der Strompreis vervierfacht. Gut zu erkennen ist das durchschnittlich stetige Wachstum in Höhe von 7,7 % im Zeitraum von 1970 bis 2010. Vor allem in den ersten 15 Jahren hebt sich dieser Anstieg deutlich vom weiteren Verlauf der Kurve ab.

<sup>12</sup> Vgl. IEA (2009) S. 27

<sup>13</sup> Vgl. Weyerstrass (2011) S. 20

Abbildung 10: Entwicklung der Energiepreise für leitungsgebundene Energieträger<sup>14</sup>

Laut Tabelle 2 betrugen die Kosten in Österreich im Jahr 1985 für eine Kilowattstunde elektrischer Energie ca. 0,13 €. 25 Jahre später waren es ca. 0,19 €. Dies entspricht einer jährlichen Steigerung um 2,1 %.

Tabelle 2: Endverbraucherpreis für Elektrizität<sup>15</sup>

€/kWh	AT	FI	DE	CZ	HU	IT	ES	CH
1985	12,72	5,45	12,31	n.a.	3,127	8,68	8,77	8,003
1990	12,86	6,61	13,53	n.a.	3,218	9,7	11,63	9,191
1995	14,04	7,99	14,88	2,838	4,45	14,24	14,57	12,574
2000	12,75	8,44	13,09	5,905	7,091	14,7	12,71	12,076
2001	13,24	8,59	13,82	6,669	7,637	16,5	12,13	12,171
2002	13,79	8,98	14,384	8,081	8,468	16,5	12,09	12,455
2003	13,48	9,9	15,54	7,475	9,04	16,5	12,15	11,797
2004	14,225	9,9	15,9	7,803	10,775	15,4	12,2	11,47
2005	14,02	9,73	17,1	8,492	11,745	15,9	12,361	11,172
2006	13,9	10,195	17,67	9,737	11,489	18	13,13	10,554
2007	15,6	10,613	19,21	10,657	13,756	18,8	13,649	9,958
2008	17,58	11,793	19,938	13,076	115,335	20,88	14,912	10,539
2009	18,88	12,505	21,091	13,833	14,845	20,458	15,284	11,803
2010	19,4	12,92	22,181	13,719	16,974	20,145	n.a.	12,801

<sup>14</sup> Vgl. [http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/image/Energie\\_in\\_Zahlen/brennstoffe-1970.gif](http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/image/Energie_in_Zahlen/brennstoffe-1970.gif)

<sup>15</sup> Vgl. <http://www.energyagency.at/energie-in-zahlen/energiepreise/endverbraucherpreise/haushalte.html>

## 2.2 Zukünftige Ölversorgung und Abhängigkeit

Es gibt unterschiedliche Theorien und Prognosen, wann das Fördermaximum, der sogenannte „Peak Oil“, erreicht wird bzw. wurde. Gemäß den Arbeiten der L-B-Systemtechnik<sup>16</sup> bewegen wir uns derzeit im Fördermaximum. Das bedeutet, dass in Zukunft die jährliche, globale Verfügbarkeit von Erdöl rückläufig sein wird. Begründet wird diese Theorie unter anderem mit den immer geringer werdenden Ölfunden, da nur gefundenes Öl auch gefördert werden kann. Dargestellt ist dieser Umstand in Abbildung 11.

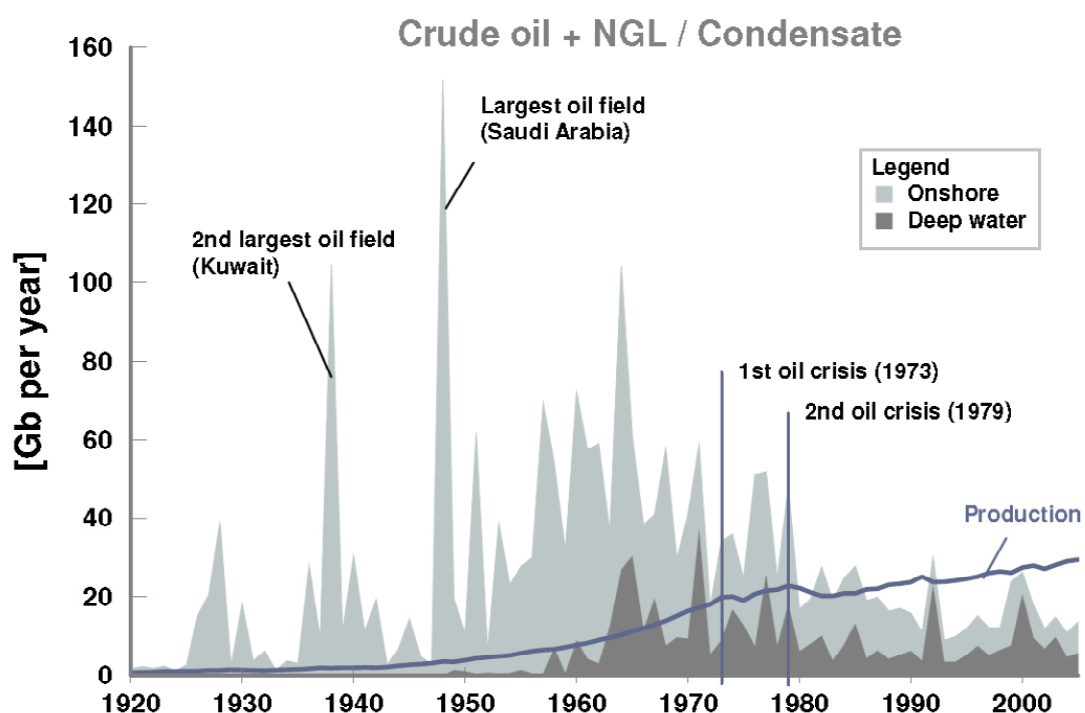


Abbildung 11: Entwicklung der Ölfunde und der Ölförderung<sup>17</sup>

Vergleicht man den Zeitraum zwischen 1960 bis 1970 mit jenem Zeitraum von 2000 bis 2005, ist festzustellen, dass früher durchschnittlich 527 Mb Öl je Aufschlussbohrung, später nur mehr 20 Mb pro Aufschlussbohrung gefunden wurden.

<sup>16</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 7

<sup>17</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 7

Laut einer Schätzung der Industriedatenbank (IHS 2006) beträgt die verbleibende Weltölreserve 1.255 Gb. In der Tabelle 3 wird dieser Wert vor allem bei den Reserven im Nahen Osten durch die EWG korrigiert, anstatt 677 Gb werden nur 363 Gb geschätzt.<sup>18</sup>

Tabelle 3: Geschätzte Ölreserven und jährliche Förderung<sup>19</sup>

Region	verbleibende Reserven		Förderung 2005		Verbrauch 2005 [Gb/Jahr]
	EWG [Gb]	IHS [Gb]	onshore [Gb/Jahr]	offshore [Gb/Jahr]	
<b>OECD North America</b>	84	67.6	3.20	1.71	9.13
Canada	17	15.3	0.89	0.12	0.82
USA	41	31.9	1.93	0.59	7.59
Mexico	26	20.4	0.36	1.00	0.72
<b>OECD Europe</b>	25.5	23.5	0.1	1.94	5.72
Norway	11	11.6	0	1.13	0.08
UK	8	7.8	0.01	0.70	0.65
<b>OECD Pacific</b>	2.5	5.1	0.025	0.18	3.18
Australia	2.4	4.8	0.02	0.17	0.31
<b>Transition Economies</b>	154	190.6	4.1	0.18	2.02
Russian Federation	105	128	3.4	0.13	1.00
Azerbaijan	9.2	14	0.01	0.15	0.04
Kazakhstan	33	39	0.47	0	0.08
<b>China</b>	27	25.5	1.1	0.22	2.55
<b>South Asia</b>	5.5	5.9	0.11	0.16	0.96
<b>East Asia</b>	16.5	24.1	0.3	0.65	1.75
Indonesia	6.8	8.6	0.27	0.11	0.43
<b>Latin America</b>	52.5	129	2.0	0.61	1.74
Brazil	13.2	24	0.075	0.55	0.75
Venezuela	21.9	89	1.17	0	0.20
<b>Middle East</b>	362	678.5	6.97	1.97	2.09
Kuwait	35	51	0.96	0	0.11
Iran	43.5	134	1.19	0.24	0.59
Iraq	41	99	0.67	0	
Saudi Arabia	181	286	2.85	0.86	0.69
UAE	39	57	0.46	0.45	0.14
<b>Africa</b>	125	104.9	2.03	1.53	1.01
Algeria	14	13.5	0.72	0	0.09
Angola	19	14.5	0.01	0.45	
Libya	33	27	0.61	0.02	
Nigeria	42	36	0.39	0.52	
<b>World</b>	<b>854</b>	<b>1,255</b>	<b>19.94</b>	<b>9.15</b>	<b>30.3</b>

Die Weltölreserven lt. Schätzung der EWG betragen somit nicht 1.255 Gb sondern nur 854 Gb und verteilen sich weltweit laut nachfolgender Abbildung 12 auf folgende Kontinente.

<sup>18</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 7

<sup>19</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 8



Abbildung 12: Weltölreserven nach Schätzung EWG<sup>20</sup>

Die Vorgehensweise bei der Erschließung von Ölfunden beginnt mit den größten Feldern, danach werden sukzessive alle anderen Ölfelder in der Region erschlossen, um den Rückgang der Fördermenge auszugleichen. Diese Kompensation wird von Feld zu Feld immer schwieriger, da bei kleineren Ölfeldern das Fördermaximum schneller erreicht ist. Dieser Umstand trägt dazu bei, dass die allgemeine Gesamtfördermenge rückläufig wird. Verdeutlicht wird dieser Effekt in Abbildung 13.

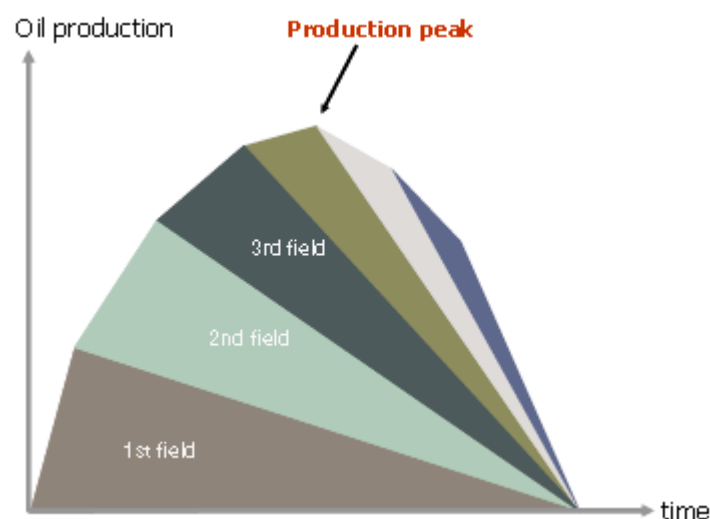


Abbildung 13: Typisches Förderprofil einer Ölregion<sup>21</sup>

<sup>20</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 9

<sup>21</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 10



Für die Charakteristika dieses Förderprofils steht die Schwierigkeit der Erhöhung der Ölfördermenge. Mit ansteigender Dauer des Förderprozesses, ohne neue Felder erschließen zu können, steigen die Kosten, zeitgleich reduziert sich die Wachstumsrate.

Wie in Abbildung 14 ersichtlich ist, hat Österreich bereits 1955 sein Fördermaximum erreicht.

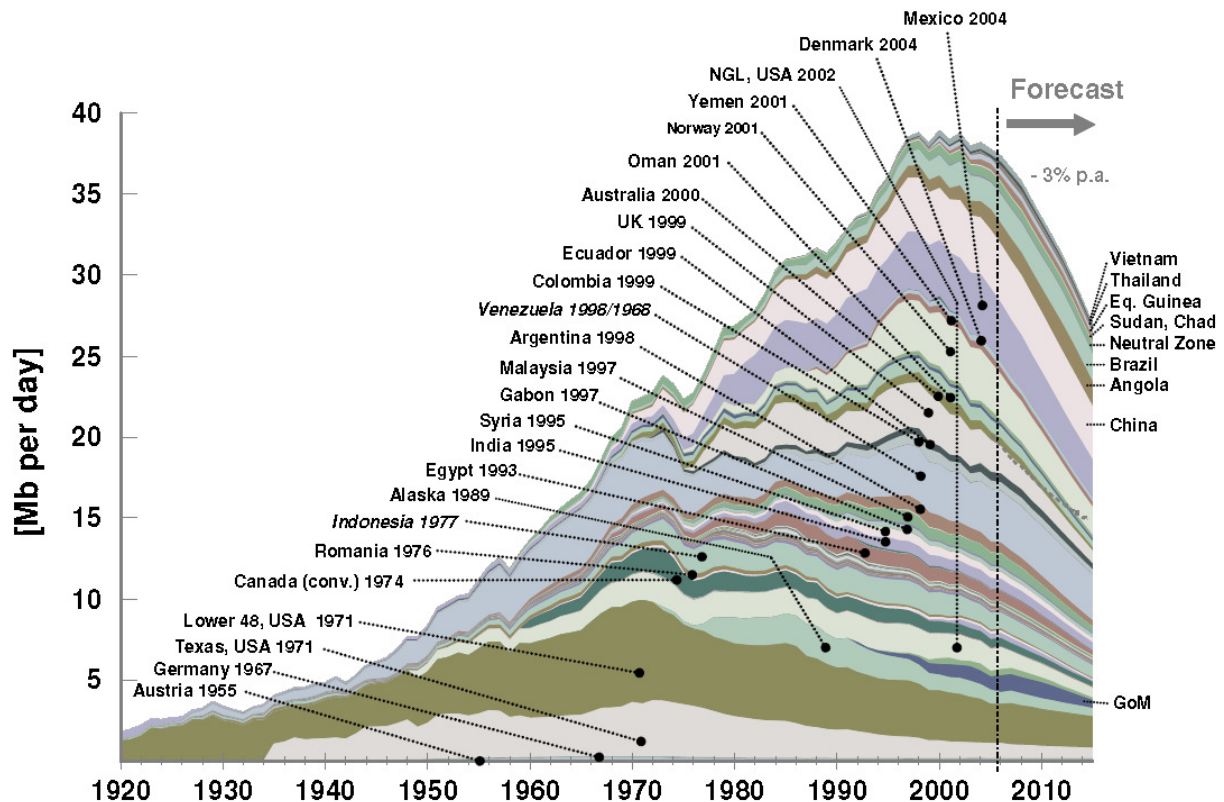


Abbildung 14: Öl produzierende Länder außerhalb der OPEC<sup>22</sup>

Jene Länder ohne Jahresangabe haben ihr Fördermaximum noch nicht erreicht. Auch wenn man ein Szenario durchspielt, indem diese restlichen Ölregionen noch Wachstumsreserven aufweisen, wird nach Prognosen der dort angesiedelten Ölfirmen, die jährliche Gesamtfördermenge dieser Länder fortdauernd um ca. 3 % sinken.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 11

<sup>23</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 10 f

Die gewichtigste Erkenntnis dieser Studie ist, dass nach dem Erreichen des Fördermaximums, die Ölförderung einen rasanten Rückgang erleidet. Dieser Umstand wird in Abbildung 15 veranschaulicht.

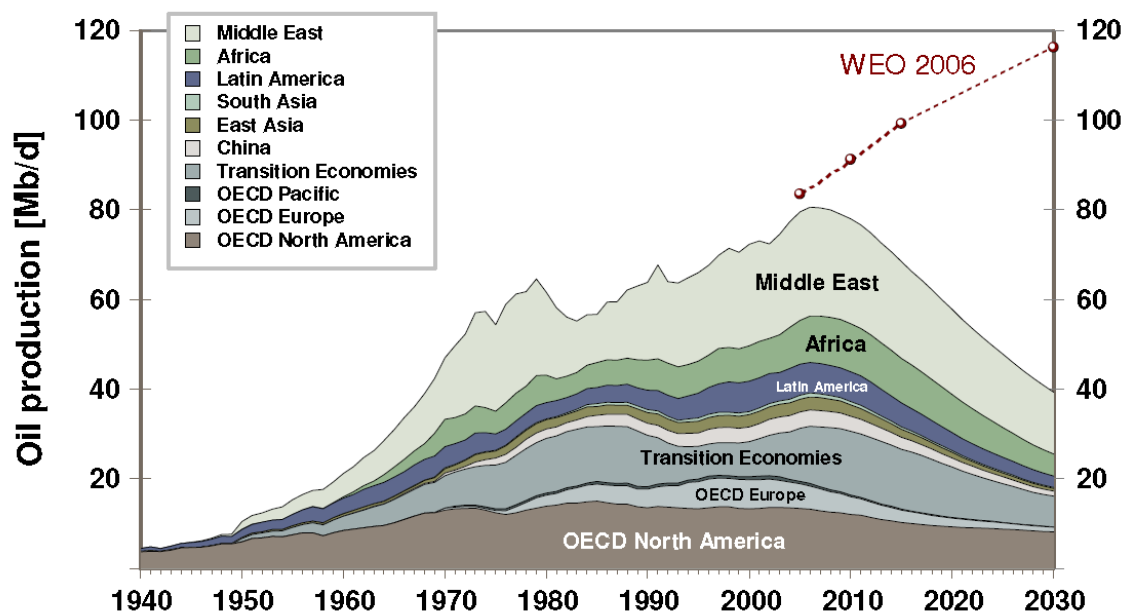


Abbildung 15: Zukünftige weltweite Ölförderung<sup>24</sup>

Die Ergebnisse stehen im Gegensatz zur Annahme der Internationalen Energieagentur (IEA), die für die kommenden Jahre schnell steigende Ölförderungen prognostiziert. So sollen lt. Hochrechnungen der IEA im Jahr 2020, 105 Mb pro Tag gegenüber 58 Mb und im Jahr 2030, 116 Mb gegenüber 39 Mb pro Tag betragen. Die Analyse der Regionen zeigt, dass alle Länder einen Rückgang der Fördermenge zum Referenzjahr 2005 verzeichnen, mit Ausnahme von Afrika, hier wird eine Stagnation in 2030 erwartet. Schlussfolgerung dieses Ausblicks ist, dass die Weltwirtschaft durch den Rückgang fossiler Brennstoffe neue Strukturen schaffen muss, um den Weltenergiebedarf weiterhin abdecken zu können. Ebenso wird die Menschheit durch den Wandel des Klimas gezwungen sein, ihre Verbrauchsgewohnheiten nachdrücklich zu ändern, um die globale Erderwärmung in Grenzen zu halten und die Importabhängigkeit zu senken und die Energiekosten vom Ölpreis abzukoppeln.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 13

<sup>25</sup> Vgl. Schindler (2008) S. 12 ff

## 2.3 Umweltauswirkungen

Im Jahr 2030 wird die Weltbevölkerung von derzeit ca. 6,8 Milliarden auf ca. 9,1 Milliarden wachsen und rund 40 % mehr Energie verbrauchen als im Vergleichsjahr 2007. Dies erscheint logisch, da mehr Menschen auch mehr Energie benötigen, hingegen wächst der Bedarf an weltweiten Automobilen fünfmal schneller als die Weltbevölkerung und wird sich bis zum Jahr 2030 verdoppeln. Zwei Milliarden Personenkraftwagen sollen bis zum Jahr 2050 weltweit 70 Billionen Kilometer pro Jahr zurücklegen. Zum Vergleich sind es heute ca. 32 Billionen Kilometer pro Jahr. Mit dem größten Zuwachs ist in China und Indien sowie in den Schwellen- und Entwicklungsländern zu rechnen. Dieses enorme Wachstum ist auf unsere moderne Gesellschaft zurückzuführen. Zudem bedeutet Mobilität für viele Menschen Freiheit und Wohlstand, auf denen keiner mehr verzichten will und kann.<sup>26</sup>

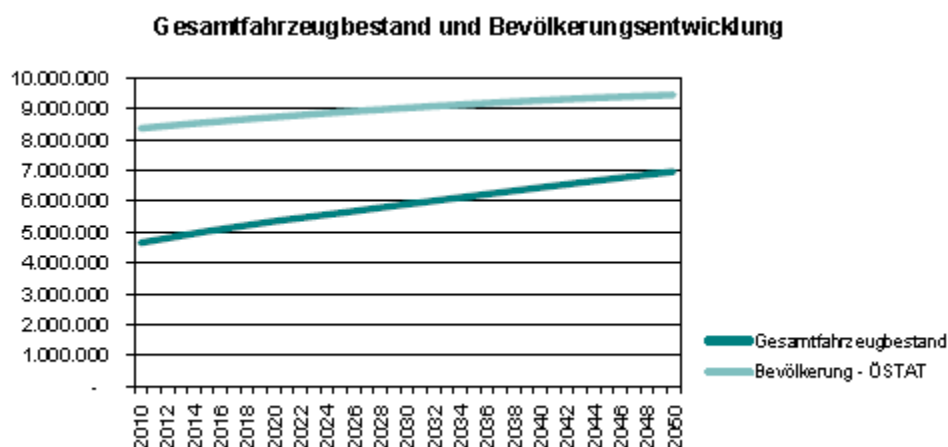


Abbildung 16: Gesamtfahrzeugbestand und Bevölkerungsentwicklung bis 2050<sup>27</sup>

Betrachtet man in Abbildung 16 den ständig steigenden Bevölkerungszuwachs in Österreich, mit der mitwachsenden Entwicklung des Automobilbestandes, bildet sich neben dem Ressourcen- und Preisproblem noch ein völlig anderes, gemeint ist die Auswirkung der schädlichen Abgase auf unsere Umwelt. Durch die hohe Zuwachsrates wird unsere Lebensqualität maßgeblich beeinträchtigt. Im Zusammenhang steht der weltweite Klimawandel durch die Erderwärmung.

<sup>26</sup> Vgl. Vieweg (2010) S. 16 f

<sup>27</sup> Vgl. Pötscher (2010) S. 34

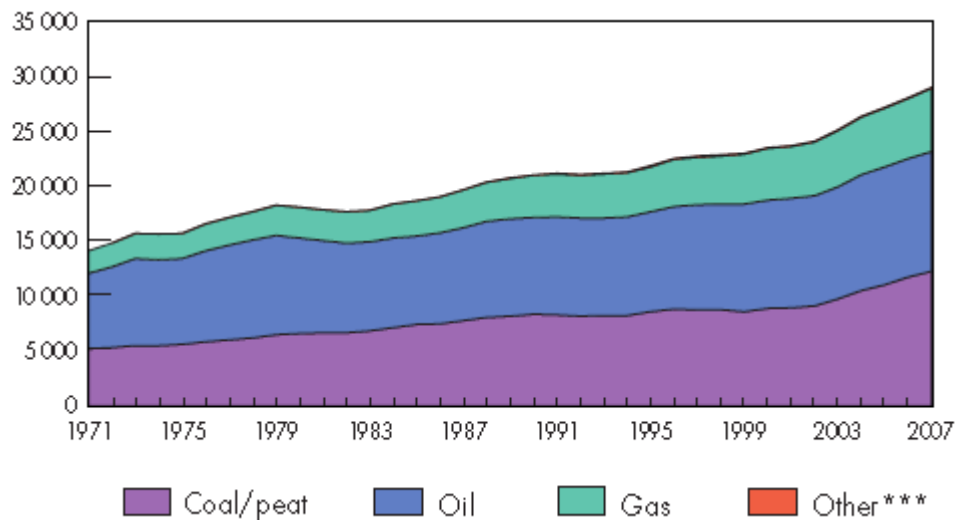


Abbildung 17: Entwicklung weltweiter Treibhausgasemissionen in Mt CO<sub>2</sub><sup>28</sup>

Die Treibhausgasemissionen haben sich im Zeitraum von 1973 mit 15.640 Mt CO<sub>2</sub> bis 2007 mit 28.962 Mt CO<sub>2</sub> fast verdoppelt. Die Tendenz ist stark steigend (Abbildung 18). Hauptverursacher sind die stark wachsende Industrie und der zunehmende Verkehr.

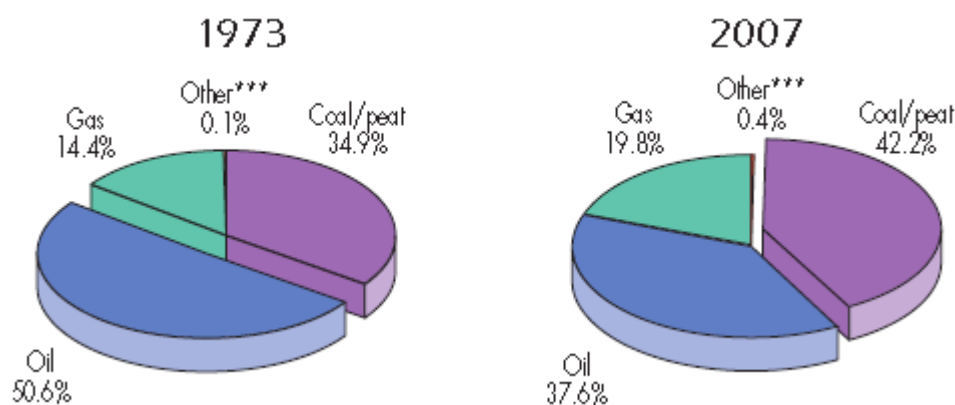


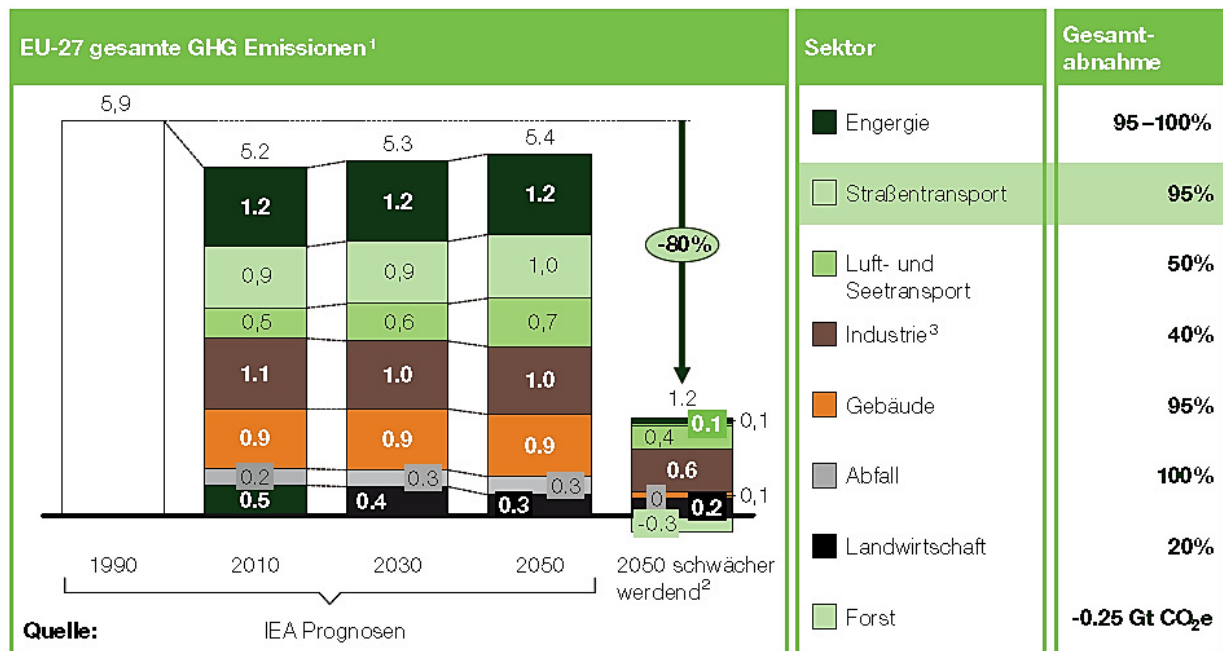
Abbildung 18: Entwicklung CO<sub>2</sub> Emissionen nach Verursacher<sup>29</sup>

Das Ziel der Europäischen Union ist es bis zum Jahr 2050 die CO<sub>2</sub> Emissionen um ca. 80 % zu reduzieren, um den CO<sub>2</sub> Gehalt der Atmosphäre auf 450 Teile pro Million zu stabilisieren und die damit verbundene globale Erwärmung auf 2°C zu beschränken.<sup>30</sup>

<sup>28</sup> Vgl. IEA (2009) S. 44

<sup>29</sup> Vgl. IEA (2009) S. 44

<sup>30</sup> Vgl. NOV (2010) S. 2



1. Umfangreiche effiziente Verbesserungen sind in der Grundlinie enthalten, basierend auf International Energy Agency, World Energy Outlook 2009, insbesondere in der Industrie

2. Abnahme-Schätzungen innerhalb des Sektors basieren auf der Global GHG Kostenkurve

3. CCS 50% der Schwerindustrie zugeordnet (Zement, Chemie, Eisen und Stahl, Petroleum und Gas (nicht anderen Industrien zugeordnet))

Abbildung 19: Dekarbonierungsziel der EU bis 2050 in Gt CO<sub>2</sub> pro Jahr<sup>31</sup>

Das Ziel die Emissionen gemäß dem 450 Szenario zu senken, kann wie in Abbildung 19 dargestellt, nur unter Einbeziehung des Verkehrssektors realisiert werden. Durch geeignete Maßnahmen sollen im Jahr 2050 die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr um 95 Prozent, auf 0,1 Gt CO<sub>2</sub> gesenkt werden.

<sup>31</sup> Vgl. NOW (2010) S. 11

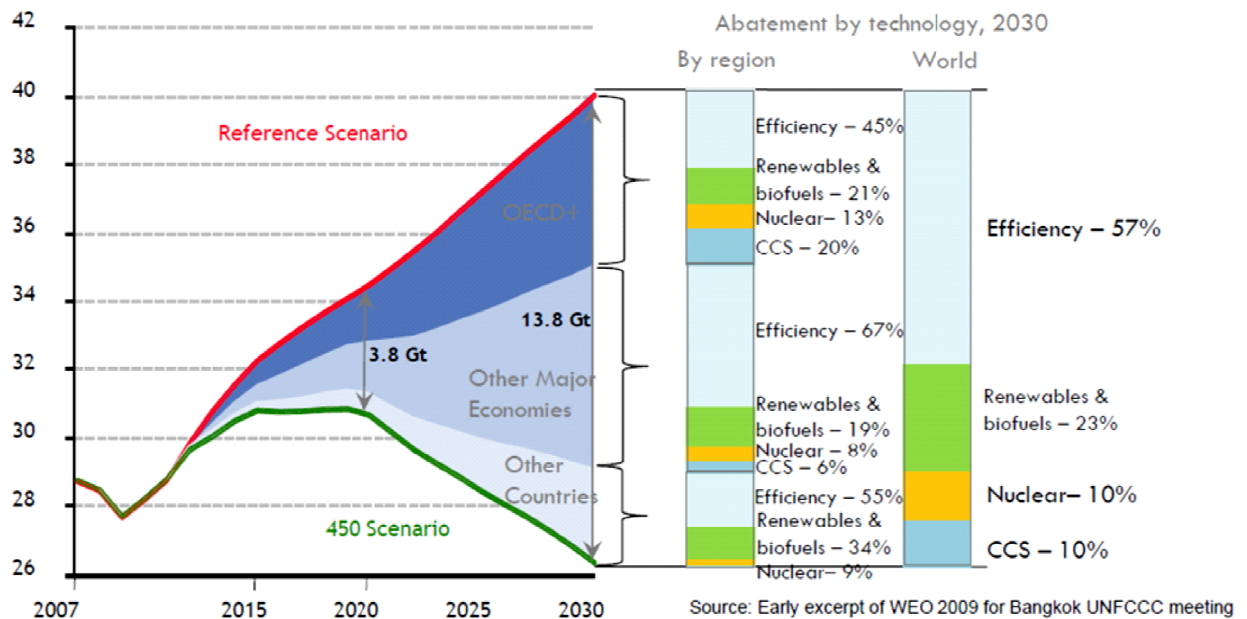


Abbildung 20: Weltenergieverbundene Treibhausgasemissionen im 450 Szenario in Gt CO<sub>2</sub>

Die Unterschiede in den jährlichen CO<sub>2</sub> Emissionen ohne konsequente Einflussnahme (RS Szenario – business as usual) und im 450 Szenario sind in Abbildung 20 dargestellt. Zu erkennen ist dabei, dass Treibhausgasemissionen ohne politische Gegenmaßnahmen unaufhaltsam zunehmen. Hingegen ist im 450 Szenario das Maximum von ca. 31 Gt im Jahr 2015 erreicht. Danach nehmen die jährlichen CO<sub>2</sub> Emissionen bis zum Jahr 2030 um rund 4,5 Gt ab.

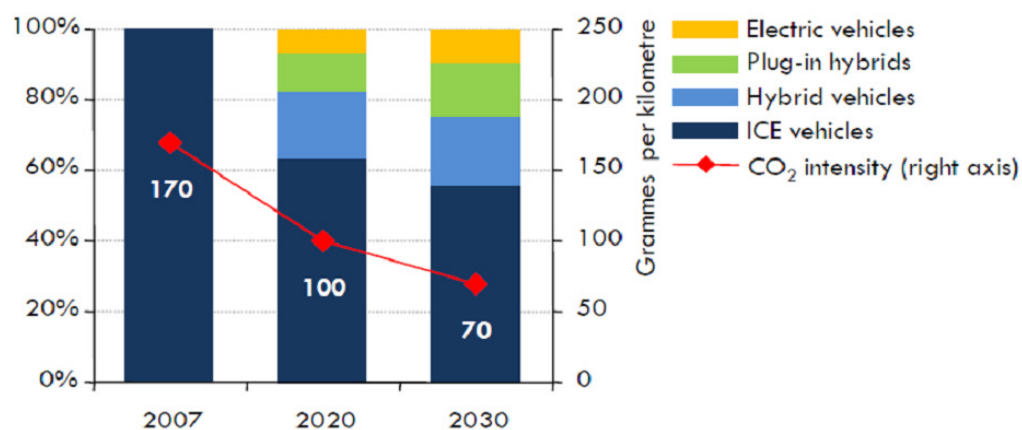


Abbildung 21: Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer PKWs gemäß 450 Szenario

Um das oben dargestellte Ziel zu erreichen, ist eine konsequente Neugestaltung der Antriebstechnik im Verkehr notwendig. Die Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen von 170 g/km auf 70 g/km kann nur durch eine 50 %-ige Reduktion der VKM-getriebenen Fahrzeuge bis zum Jahre 2030 erreicht werden.

### **3 Stand der Technik**

Die Automobilindustrie durchlebte vor allem in den letzten Jahren und Jahrzehnten eine bemerkenswerte Entwicklung. Den größten Marktanteil hat nach wie vor der Verbrennungskraftmotor. Trotz permanenter Entwicklung und modernster Technik, gibt es Grenzen und Probleme, die mit diesem brennstoffbetriebenen Aggregat nicht gelöst werden können. Anhand von Untersuchungen der Umweltauswirkungen der schädlichen Emissionen, ist es notwendig auf eine neue Art der Antriebstechnik zu setzen, um den Energieeinsatz und die Treibhausgasemissionen zu senken. Dass dies umsetzbar ist, hat die Menschheit beim Umstieg von Kohle- bzw. Dampfloks auf E-Lokomotiven bereits bewiesen. Es gilt neben dem Ausbau der bestehenden öffentlichen Straßenbahn-, U-Bahn- und O-Busnetzen das Angebot an elektrisch betriebenen Fahrzeugen zu erweitern und in das Gesamtverkehrssystem zu integrieren. Dazu bedarf es natürlich einer Reihe von Vorleistungen, Weiterentwicklungen und Rahmenbedingungen, damit ein größtmöglicher Nutzen für die Umwelt und den Menschen überhaupt erst möglich wird.

#### **3.1 Rahmenbedingungen E-Mobilität**

Die Hauptvoraussetzungen um das E-Auto marktfähig zu machen, liegen in der Vereinheitlichung und Abstimmung diverser Schnittstellen. Zu diesen zählt vor allem, eine ausgebaute Infrastruktur mit kompatiblen Ladestationen und einheitlichen Anschlüssen zum Be- und Entladen, sowie standardisierte Stecker. Die dzt. noch geringe Energiedichte der Batterien schränkt die Reichweite reiner batteriebetriebener Fahrzeuge stark ein. Ein wichtiger Faktor ist daher die Ladezeit an den sogenannten E-Tankstellen. Wenn man den herkömmlichen Tankvorgang eines Benzin- oder Dieselfahrzeugs aus der Praxis betrachtet, spielt sich der Energiezuführungsprozess in nur wenigen Minuten ab. Als Gegenbeispiel benötigt ein Akku eines Mobiltelefons mehr als nur ein paar Minuten, um wieder vollaufgeladen zu sein. Einen Lösungsansatz bieten Schnellladestationen oder die Möglichkeit den leeren Akku einfach gegen einen vollen zu tauschen.

Aus rechtlicher Sicht sind aktuell keine Barrieren für die Einführung und Nutzung der Elektromobilität bekannt. In internationalen Regelwerken ist die Erzeugung, Entwicklung



und Zulassung der Elektrofahrzeuge geregelt. Des Weiteren wurden Elektrofahrzeuge aus dem Immissionsschutzgesetz-Luft dezidiert ausgenommen.<sup>32</sup>

Neben der Herstellung und Entwicklung der Batterietechnologien spielen die zukünftigen Maßnahmen der Politik eine wichtige Rolle, um den Erfolg und die Durchsetzung der Elektromobilität möglich zu machen.<sup>33</sup>

In Anbetracht der neuwachsenden Infrastruktur an E-Tankstellen, muss zudem die Ausweitung und Versorgungssicherheit der Stromnetze sichergestellt werden.

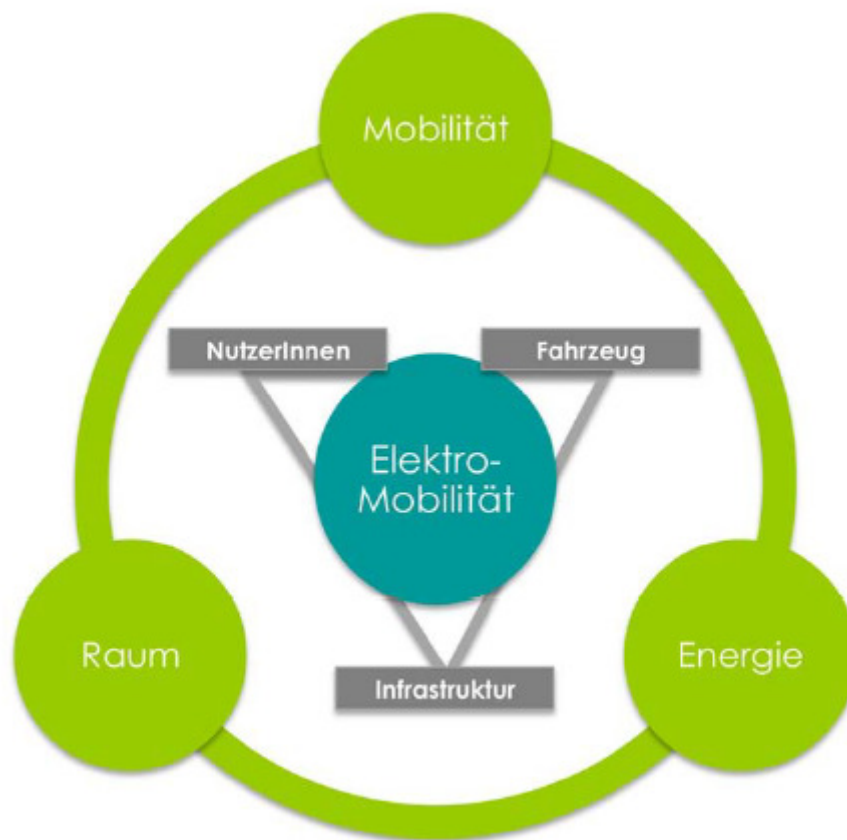


Abbildung 22: Modell Elektromobilität in Österreich<sup>34</sup>

In Abbildung 22 können Wechselwirkungen bei der Förderung und Einführung von Elektromobilität festgestellt werden. Im Mittelpunkt dieses Modells stehen Handeln, Denken, Reflexion und Adaption der Prozesse, sowie Maßnahmen der Weiterbildung und Bewusstseinsbildung. Abzustimmen ist dieses Mobilitätskonzept auf ein Gesamt-

<sup>32</sup> Bmvit (2010) S. 18

<sup>33</sup> Bristela (2010) S. 47

<sup>34</sup> Bmvit (2010) S. 36



konzept, das die Bedürfnisse der Menschen, als auch die Formen und Möglichkeiten regionaler und überregionaler Energieerzeugung, Einspeisung und Bereitstellung berücksichtigt.<sup>35</sup>

### 3.1.1 Klimagasemissionen in Österreich

Langfristig gesehen ist der Einsatz von Elektrofahrzeugen unumgänglich, da diese im Gegensatz zu alternativen Maßnahmen, ein hohes Potential zur Reduktion der Treibhausgasemissionen besitzen. Bis zum Jahr 2050 sollen die jährlichen CO<sub>2</sub> Emissionen von derzeit ca. 10 Mt auf 2 Mt um 80 % reduziert werden, wovon die Reduktion von 5 Mt alleine mit dem Einsatz batteriebetriebener Fahrzeuge erfolgen soll. Grundlage dieser Prognose ist das zukünftige Bevölkerungswachstum und der zugleich steigende Motorisierungsgrad. Eine Verlagerung des Straßenverkehrs auf öffentliche Verkehrsmittel, sehen die in Abbildung 23 dargestellten Verläufe nicht vor.<sup>36</sup>

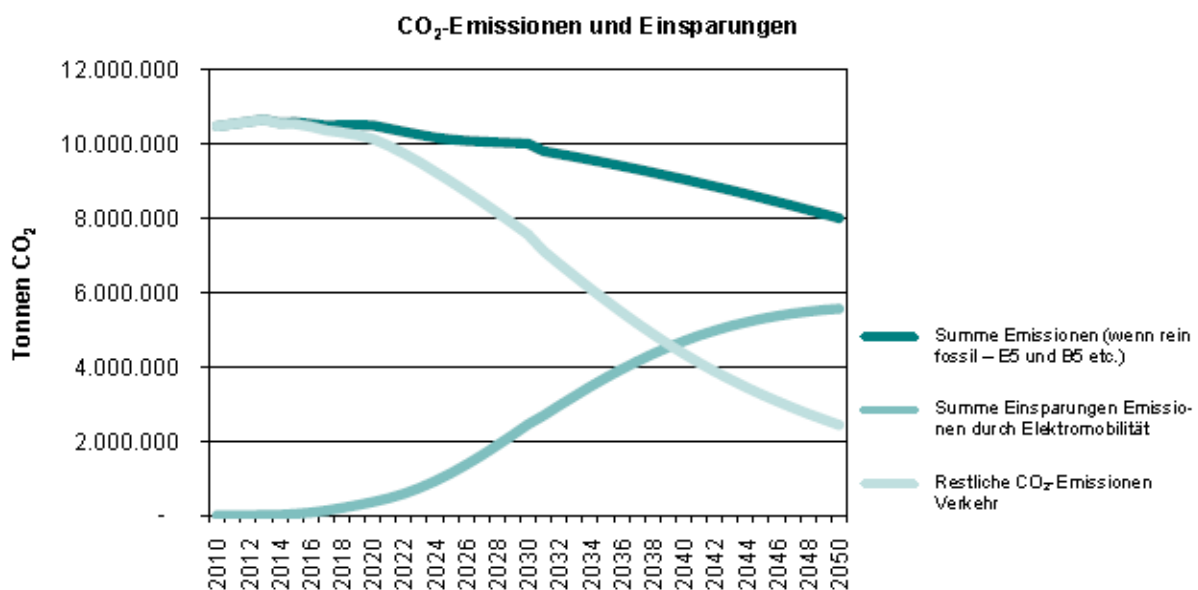


Abbildung 23: Vergleich Summen der CO<sub>2</sub> Emissionen bis 2050<sup>37</sup>

Eine genaue Betrachtung der Emissionsentwicklung bis 2020 zeigt, einen anfangs langsamen Verlauf der Einsparungen. Grund für diesen geringen Einsparwert von rund 0,36 Mt CO<sub>2</sub> ist die Umsetzung neuer Tempolimits bei Überschreitung von Grenzwerten

<sup>35</sup> Bmvit (2010) S. 36

<sup>36</sup> Vgl. Pötsch (2010) S. 36

<sup>37</sup> Vgl. Pötscher (2010) S. 37

in der Luftgüte und vor allem der fehlende Einsatz an Elektrofahrzeugen. Mit Zunahme der Flottendurchdringung soll ab dem Jahr 2020 eine stetige Abnahme der Emissionsbelastung erfolgen, die 2030 knapp 2,5 Mt ausmacht. Bis 2050 erhöht sich dieser Wert auf ca. 5,6 Mt. Aus heutiger Sicht gibt es noch keine alternativen Technologien, welche die Emissionsbelastung derart drastisch reduzieren würden. Damit die genannten Klimaziele in Zukunft auch wirklich erreicht werden können, ist eine rasche Einführung der Elektromobilität von höchster Bedeutung.<sup>38</sup>

### 3.1.2 Fahrverhalten

Neben den Trends der steigenden Energieverbräuche und Treibgasemissionen entwickelt sich ein weiterer Megatrend, der einen gewaltigen Einfluss auf die Lebensweise und damit verbundene Mobilität mit sich bringt. Die Rede ist von der Urbanisierung, unter der man die Ausbreitung städtischer Lebensformen versteht. In Zukunft rücken die Menschen immer näher und näher zusammen, somit bilden sich immer größer werdende Städte. Aktuell gibt es 30 Megacitys, die bis zum Jahr 2050 explosionsartig weiter anwachsen werden und die Hälfte der Menschheit ein zuhause geben wird. Diese Art von Metropolen wird das künftige Fahrverhalten mitgestalten und beeinflussen. Spritvernichtende SUVs werden durch kompakte und sparsame Kleinwagen ersetzt. Wissenschaftler haben die Durchschnittsgeschwindigkeit während der Rushhour in Bangkok mit 15 km/h berechnet. Rund drei Wochen auf das Jahr gerechnet, stehen Autofahrer in Los Angeles im Stau. Das Verkehrsaufkommen in Chinas Hauptstadt Beijing wächst von Tag zu Tag, wobei täglich 1.100 Autos hinzukommen. In Mexico City bewegen sich täglich über 4 Millionen Autos fort.

Aus diesen Gründen wird es in Zukunft notwendig sein, das Konzept der City-Mobilität, mit klimaneutralen und umweltgerechten Fahrzeugen, neu zu überdenken. Zum aktuellen Vergleich fahren 90 % aller Autos in Deutschland täglich eine Wegstrecke von ca. 80 Kilometer. Diese Tatsache spricht für die Verwendung von Elektroautos, da diese Reichweite mit vollen Akkus ohne Probleme abgedeckt werden kann.

---

<sup>38</sup> Vgl. Pötscher (2010) S. 38

### 3.1.3 Energieerzeugung

Elektroautos haben den Ruf einer umweltfreundlichen Antriebstechnologie, die keine lokalen Emissionen produziert. Dazu ist jedoch ein förderlicher Strom-Mix notwendig. Ausgangslage zur Senkung von Emissionen ist die Herstellung von „grünem Strom“. Das bedeutet, dass die Stromerzeugung in seinem Ursprung keine Emissionen entstehen lässt und damit die Bedeutung nachhaltiger Mobilitätskonzepte erst möglich macht. Erneuerbare Energiequellen wie bspw. Photovoltaik, Wind und Wasser sind für die Erzeugung des sogenannten Ökostroms die Voraussetzung. Selbst bei kombinierten Gas- und Dampfturbinen Kraftwerke, kurz GuD genannt, können die CO<sub>2</sub> Emissionen halbiert werden. Die Herkunft des Stroms ist für die Nachhaltigkeit der Elektromobilität somit äußerst relevant. Welche Energiebereitstellung dafür notwendig ist, zeigt folgende Abbildung 24.

Energiequelle	Wirkungsgrad in %	Vollaststunden /Jahr	Installierte Leistung je Elektrofahrzeug in kW	Bemerkung
Photovoltaik	12-23	900	2,5	20-25 m <sup>2</sup> PV je E-Fahrzeug
Wind	30-45	2.000	1,0	2 MW Wind für 2.500 E-Fahrzeuge
Wasser (Freudenau)	90-95	4.500	0,5	170 MW für 350.000 E-Fahrzeuge
GuD-Kraftwerk	58-60	8.000	0,25	350 MW-Anlage für 1,35 Mio. E-Fahrzeuge

Abbildung 24: Energiebereitstellung für Elektromobilität<sup>39</sup>

Um ein E-Auto mit einer Jahresleistung von 10.000 km nachhaltig betreiben zu können, bedarf es ca. 25m<sup>2</sup> Solarzellen. Im Vergleich kann eine Windenergieanlage von 2 MW ca. 2.500 Fahrzeuge speisen. Das Wasserkraftwerk Freudenau reicht für etwa 350.000 Elektrofahrzeuge. Im Falle einer Energieversorgung mit konventionellen thermischen Kraftwerken, wie z.B. bei modernen Gas- und Dampfkraftwerken, würden die Emissio-

<sup>39</sup> Vgl. Bristela (2010) S. 45

nen bei etwa 70 g CO<sub>2</sub>/km und bei einem Kohlekraftwerk bei ca. bei 90 g CO<sub>2</sub>/km liegen.<sup>40</sup>

Die Umweltfreundlichkeit der Elektroautos ist hauptsächlich von der Art der Energiequelle abhängig und wird in nachstehender Abbildung 25 zum Ausdruck gebracht.

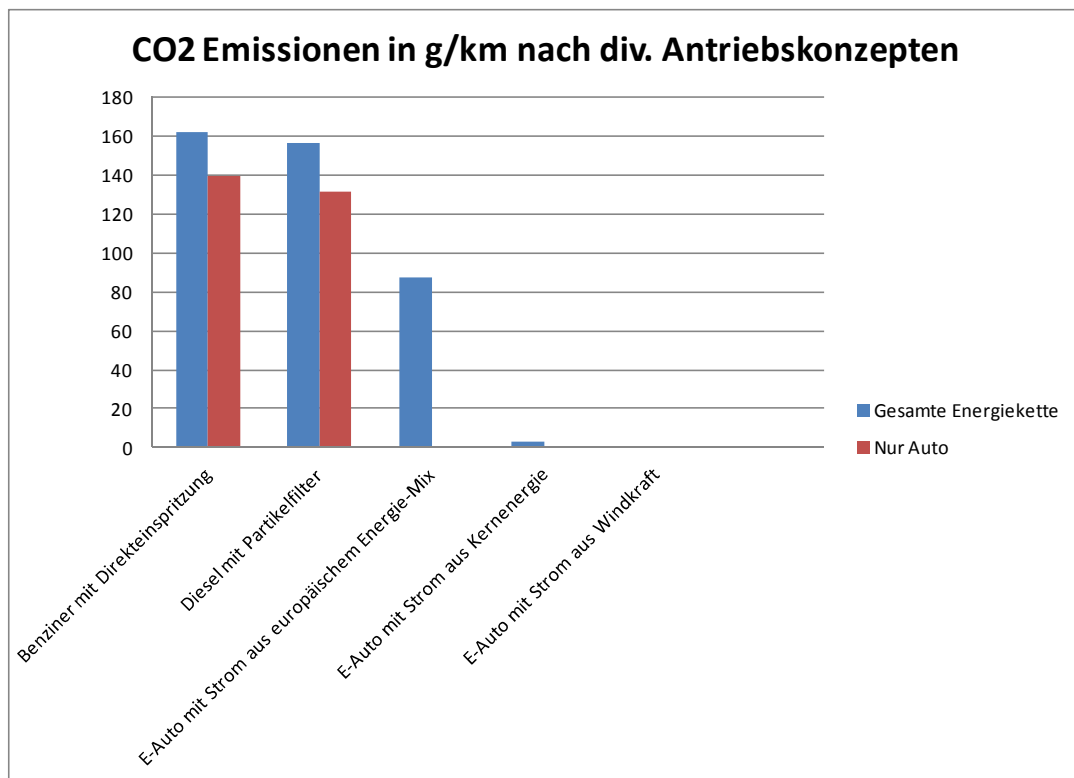


Abbildung 25: Antriebskonzepte im Vergleich ihrer CO<sub>2</sub> Emissionen<sup>41</sup>

Bei einem Benzinauto mit Direkteinspritzung führt die Annahme des Verbrauchs von 6,7 Liter pro 100 Kilometer zu einem Kohlendioxidausstoß von 162 Gramm pro Kilometer. Bei einem dieselmotorbetriebenen Personenkraftwagen mit Direkteinspritzung und Partikelfilter beträgt der Energieverbrauch 6,4 l/100 km, über die gesamte Energiekette gesehen. Die CO<sub>2</sub> Emissionen von 156 Gramm pro Kilometer liegen nur gering unter dem vorhin angegebenen Beispiel. Legt man den europäischen Energiemix zu Grunde, entstehen dadurch 87 g/km CO<sub>2</sub>. Lokal kommt es aber zu keiner Luftverschmutzung. Dies gilt auch für die Nutzung des Stromes aus Kernkraftwerken, wobei 2,9 Gramm pro Kilometer CO<sub>2</sub> bei der Stromproduktion anfallen. Am umweltschonendsten ist die Er-

<sup>40</sup> Vgl. Bristela (2010) S. 44 f

<sup>41</sup> Vgl. Eigene Darstellung Vieweg (2010) S. 74

zeugung und Verwertung der Energie aus Windkraftanlagen. Das Emissionsäquivalent liegt bei null, da weder bei der Produktion, noch beim Betreiben batteriebetriebener Autos, schädliche Treibhausgasemissionen anfallen.<sup>42</sup>

Zum weiteren Vergleich bestand 2009 der Strom-Mix in Deutschland aus 42 % Kohle, aus 24 % Kernenergie und aus 16 % regenerativen Energien. Demnach verursacht eine deutsche Kilowattstunde Strom ca. 550 Gramm an CO<sub>2</sub> Emissionen. Bei einer Annahme von einem Verbrauch eines E-Autos von 20 kWh je 100 Kilometer, ergibt das einen CO<sub>2</sub> Ausstoß von 11 kg / 100 km. Die bei der Fahrzeugproduktion entstandenen Emissionen sind hier nicht mit eingeschlossen. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem eines gleichwertigen, benzinbetriebenen Fahrzeugs, ist festzustellen, dass bei einem Verbrauch von rund 6 Litern auf 100 km, etwa 13,2 kg CO<sub>2</sub> emittiert werden. Dies sind allerdings nur ca. 20 Prozent mehr als bei der Elektrovariante.

Der lokale, emissionslose und geräuscharme Betrieb unterstreicht den Vorteil der E-Mobilität, vor allem in Großstädten mit enormer Smogbelastung. Aber auch hier gibt es noch Probleme zu lösen, da durch die leise Fahrweise das Fahrzeug von Mitmenschen nicht mehr so gut wahrgenommen wird.<sup>43</sup>

Wie aus dem Beispiel ersichtlich ist, beeinflusst die Art der Stromerzeugung maßgeblich den Kohlendioxidausstoß. Im Gegensatz zu Deutschland basiert die Stromerzeugung in Österreich zum Großteil auf erneuerbaren Energiequellen.

Die folgende Tabelle 4 gliedert den österreichischen Strom-Mix in 62,1 % erneuerbare, 20,1 % fossile sowie 0,3 % sonstige Energieträger. Restliche 17,3 % beinhalten den Strom aus unbekannter Herkunft. Aus dem österreichischen Strom-Mix resultiert eine Umweltbelastung von ca. 195 g CO<sub>2</sub>/kWh.<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> Vgl. Vieweg (2010) S. 75

<sup>43</sup> Vgl. Kretschmer (2010) S. 10

<sup>44</sup> Vgl. e-control (2010) S. 14

Tabelle 4: Umweltauswirkungen der Stromproduktion in Österreich<sup>45</sup>

Stromkennzeichnung gem § 45 EIWOG für den Zeitraum 1. Jänner bis 31. Dezember 2009	
Energieträger	Versorgermix
Wasserkraft	53,7%
Feste oder flüssige Biomasse	3,8%
Windenergie	3,6%
sonstige Ökoenergie	1,0%
Erdgas	13,2%
Erdöl und dessen Produkte	0,6%
Kohle	6,3%
Bekannte sonstige Energieträger	0,3%
Strom unbekannter Herkunft ENTSO-E-Mix	17,5%
(europäischer Strommix aus 12,58 % Wasserkraft, 51,41 % fossile Brennstoffe, 28,89 % Nuklearenergie, 6,74 % Sonstige Erneuerbare Energieträger, 0,39 % Sonstige Primärenergieträger)	
<b>Summe</b>	<b>100,0%</b>
Umweltauswirkungen der Stromproduktion	
CO <sub>2</sub> -Emissionen	195,16 g/kWh
Radioaktiver Abfall	0,000137 g/kWh

Verglichen mit dem Strom-Mix aus Deutschland würde das folgende Auswirkungen auf den Ausstoß von Treibhausgasemissionen bedeuten. Auf das Elektroauto würden 3,9 kg CO<sub>2</sub> / 100 Kilometer bei einem Verbrauch von 20 kWh selber Distanz entfallen.

Wird das E-Auto in Österreich mit elektrischer Energie gespeist anstatt in Deutschland, reduziert sich der Kohlenstoffdioxidausstoß um knapp 2/3. Hauptgrund dafür liegt in der Stromerzeugung durch Kohlekraftwerke in Deutschland, da dieser Prozess einen enormen Anteil an Kohlendioxid begleitet.

<sup>45</sup> Vgl. e-control (2010) S. 21

Abhilfe kann nur eine vollständige Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, wie in Österreich mit einigen Beispielen in Tabelle 5 gezeigt, bringen.

Tabelle 5: Stromerzeugungsunternehmen und ihre CO<sub>2</sub> Emissionen<sup>46</sup>

	CO <sub>2</sub> Emissionen [g/kWh]	Radioaktiver Abfall [g/kWh]
Alpen Adria Energie Naturstrom Vertrieb GmbH	0	0,00
Anton Kittel Mühle Plaika GmbH	0	0,00
BEWAG Energie Vertrieb GmbH & Co KG	0	0,00
Ebner Strom GmbH	0	0,00
Elektrizitätswerk Lechner August AG	0	0,00
Elektrizitätswerk Perg GmbH	0	0,00
Enamo Ökostrom GmbH	0	0,00
Energie AG Oberösterreich Vertrieb GmbH & Co KG	178,15	0,00
Energie Graz GmbH & Co KG	268,72	0,0004854
Energie Klagenfurt GmbH	401,11	0,0005897
EVN Energievertrieb GmbH & Co KG	248,23	0,00
Forstverwaltung Langau	0	0,00
Innsbrucker Kommunalbetriebe AG	115,13	0,0002080
Kelag – Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft	200,02	0,0003611
Kraftwerk Glatzing-Rüstorf, Reg. Gen. mbH	0	0,00
Lichtgenossenschaft Neukirchen, Reg. Gen. mbH	0	0,00
Licht- u. Kraftstromvertrieb d. Marktgemeinde Göstling a. d. Ybbs	0	0,00
Licht- und Kraftstromvertrieb der Gemeinde Hollenstein	0	0,00
Licht- und Kraftvertrieb der Gemeinde Opponitz	0	0,00
Linz Öko-Energievertriebs GmbH	0	0,00
Linz Strom Vertrieb GmbH & Co KG	193,80	0,0000298
Ludwig Polsterer Vereinigte Walzmühlen Ges.m.b.H.	0	0,00
Murauer Stadtwerke Gesellschaft mbH	0	0,00
My Electric Energievertriebs- und Dienstleistungs GmbH	362,52	0,0006548
Naturkraft Energievertriebsgesellschaft m.b.H	0	0,00
oekostrom Vertriebs GmbH	0	0,00
Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation	35,24	0,00
Salzburg Ökoenergie GmbH	0	0,00
Stadtwerke Hartberg Energieversorgungs GmbH	0	0,00
Steweg-Steg GmbH	248,19	0,00
TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG	116,35	0,0002102
Unsere Wasserkraft GmbH & Co KG	0	0,00
Verbund - Austrian Power Sales GmbH	367,63	0,0006618
Verbund - Österreichische Elektrizitätswirtschafts AG	0	0,00
Vorarlberger Kraftwerke AG	145,57	0,00
Vorarlberger Ökostrom GmbH	0	0,00
Weizer Naturenergie GmbH	0	0,00
Wels Strom GmbH	66,31	0,00
Wien Energie Vertrieb GmbH & Co KG	204,09	0,00
Österreich Gesamt	195,16	0,000137

<sup>46</sup> Vgl. Bmwfi (2011) S. 5

Diese Wende der künftigen Erzeugung setzt natürlich auch die Versorgungssicherheit des öffentlichen Stromnetzes voraus. Um in Österreich im Jahr 2050 alle elektrisch betriebenen Vehikel mit Energie versorgen zu können, werden 9 TWh notwendig sein. Daraus resultiert eine Einsparung an flüssigem Kraftstoff von etwa 31,5 TWh.<sup>47</sup>

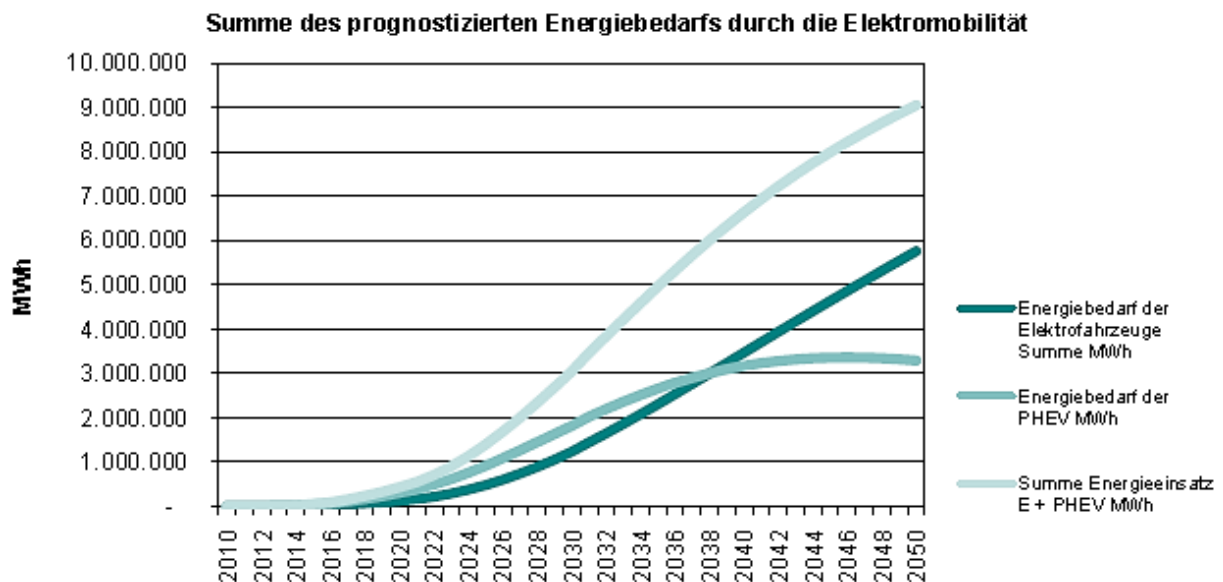


Abbildung 26: Summe des errechneten Energiebedarfs in MWh durch Elektromobilität<sup>48</sup>

Etwa im Jahr 2037 kommt es zu einem Schnittpunkt in Abbildung 26. Ab diesem Zeitpunkt reduziert sich die eingesetzte Energiemenge in Hybridfahrzeugen aufgrund der Verschiebung des Flottenbestandes, hin zu rein elektrisch angetriebenen Autos.

Was das in Zukunft für Stromnetzbetreiber bedeutet, lässt sich nur erahnen, da die Auswirkungen anfangs praktisch nicht spürbar sind. Mit steigender Dichte an E-Autos und Ladestationen kann die zur Verfügung stehende Leistung an ihre Grenzen im Netzbetrieb stoßen, da auch ein erhöhter Informationsaustausch an Abrechnungsdaten mit abgewickelt werden muss. Dadurch ist klar, dass die Einbindung der Netzbetreiber zwingend notwendig ist.<sup>49</sup>

<sup>47</sup> Vgl. Pötscher (2010) S. 40

<sup>48</sup> Vgl. Pötscher (2010) S. 40

<sup>49</sup> Vgl. e-connected (2009) S. 29



### 3.1.4 Anforderung an Batteriesysteme

Die Schlüsselkomponente in einem elektrifizierten Antriebsstrang stellt das Batteriesystem dar. Mit rund 60 bis 80 Prozent an Wertschöpfung, ist sie zugleich das wichtigste Element. Die Leistungsfähigkeit der Elektrofahrzeuge hängt mit der Energiedichte des Akkus zusammen.<sup>50</sup>

Hierbei sei erwähnt, dass bei dieser Technologie ausschließlich Akkumulatoren eingesetzt werden können, da sie im Gegensatz zu Batterien wiederaufladbar sind. Im deutschen Sprachgebrauch wird in Bezug auf die Elektromobilität oft die Batterie mit Akkumulatoren gleichgesetzt.

Die Anforderungen an Akkusysteme werden nach ihrem Einsatzgebiet definiert. Für Hybridanwendungen greift man auf Grund des Reifegrades und nutzbarer Fertigungskapazitäten nahezu immer auf die Nickel-Metall-Hydrid (NiMH) Technologie zurück. Im Gegensatz zu NiMH Akkumulatoren besitzen Lithium-Ionen-Akkus eine vielfach höhere Energiedichte und eignen sich dadurch speziell für reine Elektrofahrzeuge. Ihr Einsatz setzt riesige Akkumulatoren als Energiespeicher, eine hohe Lebensdauer, mindestens 2.500 Vollladezyklen und ein hohes Maß an Sicherheitsanforderungen voraus.<sup>51</sup>

Es wird davon ausgegangen, dass für ein alltagstaugliches E-Auto der Mittelklasse ein Energiedarf von etwa 140 Wh/(km to), in Abhängigkeit der Wegstrecke, benötigt wird. Bei dieser Annahme ist ein Energiespeicher von 21 kWh notwendig, um eine Distanz von 150 Kilometer zurück zu legen. Eine generelle Forderung besteht in der rapiden Rückladung der leeren Akkumulatoren. Bei einer zu Hause zu Verfügung stehender Ladeleistung von 3 kW und einer Akkukapazität von 20 kWh, würde die vollständige Wiederaufladung knapp 7 Stunden in Anspruch nehmen. Technisch könnten diese Ladezyklen, auf Kosten der Batteriebensdauer verkürzt werden, jedoch kann dann ein zuverlässiger Einsatz über 200.000 km bzw. 10 Jahre nicht mehr garantiert werden.<sup>52</sup>

---

<sup>50</sup> Vgl. NPE (2010) S. 22

<sup>51</sup> Vgl. NPE (2010) S. 22

<sup>52</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 34 f

Die Anforderungen der Batterien im Bereich Elektromobilität unterscheiden sich von jenen der allseits bekannten und verwendeten mobilen Zellpacks im Consumer Bereich, da für den Einsatz in der Automobilbranche acht grundlegende Ziele erfüllt werden müssen. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 27.

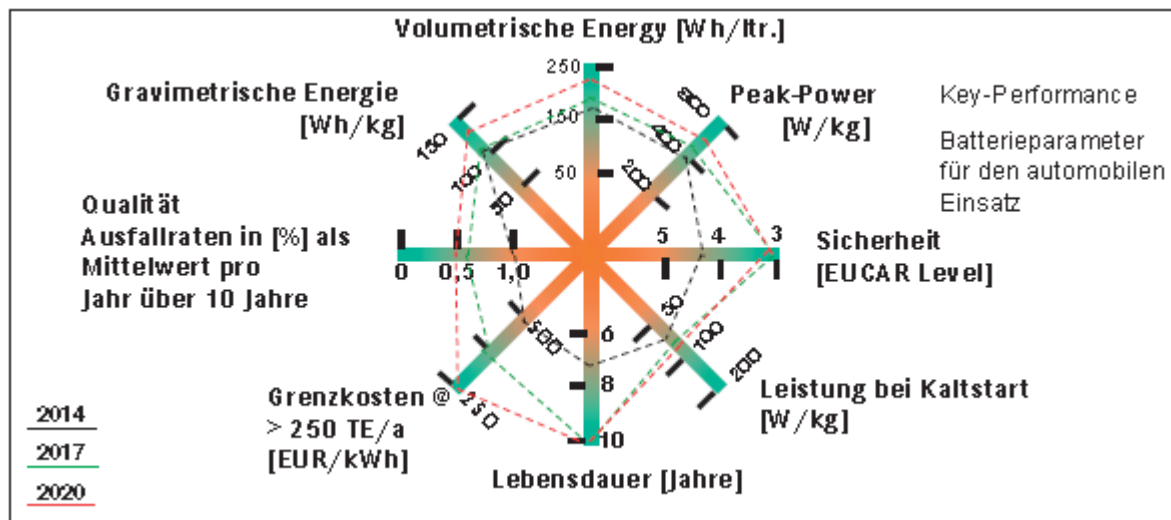


Abbildung 27: Key-Performance-Parameter Batteriesysteme<sup>53</sup>

Die Entwicklungsdauer einer Lithium-Ionen-Batterie erstreckt sich über die Dauer von ca. 10 Jahren, bis sie in Serienproduktion gehen kann. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess ist notwendig, um den Markteintritt und die Marktdurchdringung künftig zu fördern. Aus der oben gezeigten Darstellung ist ersichtlich, dass aus derzeitiger Sicht, keine starke Verbesserung im Bereich Energie- und Leistungsdichte hervorgeht. Jedoch ist anzunehmen, dass sich im Zuge höherer Stückzahlen und optimierter Herstellungstechnologien, die Batteriepreise sinken werden.<sup>54</sup>

<sup>53</sup> Vgl. NPE (2010) S. 23

<sup>54</sup> Vgl. NPE (2010) S. 23

### 3.1.5 Ressourcenverfügbarkeit

Die in Abbildung 28 dargestellte Wertschöpfungskette veranschaulicht die Bedeutung innovativer Materialien und Rohstoffe, die die Grundlage wettbewerbsfähiger Produkte bildet, und essentiellen Einfluss auf anknüpfende Prozesse hat.<sup>55</sup>



Abbildung 28: Batterietechnologie im Zusammenhang<sup>56</sup>

Wer jedoch glaubt, mit dem Umstieg auf Elektromobilität alle Ressourcenprobleme gelöst zu haben, hat die Rechnung ohne das Lithium-Karbonat gemacht, welches nur in begrenzten Mengen auf der Erde vorkommt und für die Herstellung von Lithium-Ionen Akkus benötigt wird. Südamerika hat mit fast 70 Prozent des gesamten Weltvorkommens den meisten Anteil. Die zwei größten Lagerstätten in der Nähe von Chile, fassen mehr als acht Millionen Tonnen gelöstes Lithium, das sich über Jahrtausende in Salzseen angereichert hat. Der weltweite Jahresverbrauch liegt bei 100.000 Tonnen. Prognosen gehen von einer Wachstumsrate im zweistelligen Bereich aus, nicht zuletzt wegen der von der Natur gegebenen physikalischen Eigenschaften und da es derzeit auch keine Alternative für Lithium gibt. Die Gewinnung dieses Rohstoffes gestaltet sich äußerst schwierig und langwierig, da das Lithium seinen Ursprung im Vulkanismus hat und durch Wasser herausgelöst werden muss, das sich dann in unterirdischen Seen sammelt. In 28 Quadratmeter großen Verdunstungsbecken wird diese Salzlake eingedampft, um das daraus entstandene Laugenkonzentrat zu hochwertigem Lithium-Karbonat weiter verarbeiten zu können. Unter der Annahme, dass ca. 80 bis 130 Gramm Lithium für eine Kilowattstunde gespeichertem Strom erforderlich sind, besteht ein für ein E-Auto geeigneter Akku aus mehr als 2 Kilogramm dieses kostbaren Rohstoffes. Nachdem Lithium aber auch zur Herstellung von anderen Akkus, z.B. in Mobiltelefonen, Anwendung findet und der gesamte Fahrzeugbestand im Jahr 2050 auf etwa

<sup>55</sup> NPE (2010) S. 28

<sup>56</sup> Vgl. Pfaffenpichler (2009) S. 24

2 Milliarden Autos geschätzt ist, wird auch diese Ressource irgendwann einmal zur Neige gehen. Dadurch fängt das ganze Szenario von vorne an. Ein Rohstoffmangel führt zu erhöhter Nachfrage und damit verbundenen steigenden Preisen.<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. Kretschmer (2010) S. 12 f

## 4 Alternative Antriebe

Der Verkehr ist ein kompliziertes System. Es gibt verschiedenste Fahrzeuge für unterschiedlichste Anwendungen. In den letzten einhundert Jahren kristallisierte sich der Verbrennungsmotor als allseits begehrtes und beliebtes Fortbewegungsmittel heraus. Selbst der Schienenverkehr setzt auf fossile Kraftstoffe. Es erscheint sehr schwierig, diese Vorherrschaft der fossilen Antriebe durch andere regenerative Kraftstoffe zu ersetzen. In den kommenden Jahrzehnten müssen alternative Technologien wie zum Beispiel Elektromobilität, batteriebetrieben als auch auf Basis von Brennstoffzellen und Wasserstoff sowie Hybridfahrzeuge, den konventionellen Antrieb ersetzen.

Auf dem Weg zur Elektromobilität stellt das Hybridfahrzeug mit seinen vielfältigen Hybridantrieben einen wichtigen Meilenstein dar. Hybrid Electric Vehicle, werden kurzerhand HEV bezeichnet. Wie der Name schon sagt, handelt es sich um zwei grundverschiedene Antriebe sowie zwei unterschiedliche Energiespeicher. Grund dieser Antriebskombination ist, dass man damit die Vorteile des einen Systems mit den Nachteilen des anderen kompensieren kann. Zu den Nachteilen der VKM zählt ihr schlechter Wirkungsgrad, die für die Umwelt schädlichen Abgasemissionen und vor allem die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen. Die Vorteile des Elektromotors sind, sein hoher Wirkungsgrad, sein hohes Drehmoment und seine Umweltfreundlichkeit, da im Betrieb keine Emissionen erzeugt werden und die Lärmbelästigung extrem gering ist.<sup>58</sup>

Die Anforderungen der Energiespeicher für Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit Hybridantrieb können gar nicht unterschiedlicher sein. Bei ersterem gilt es eine enorme Reichweite unter dem Aspekt hoher Energiespeichervermögen, geringem Gewicht bzw. Volumen und vor allem niedrigen Kosten zu erzielen. Bei Hybridfahrzeugen hingegen setzt man auf die Leistung des Batteriesystems, da für die kurzen Lade- und Entladeprozessen eine sehr hohe elektrische Leistung benötigt wird. Der reine elektrische Betrieb scheidet auch für das Zurücklegen kürzerer Distanzen völlig aus.<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> Vgl. Bristela (2010) S. 17

<sup>59</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 34

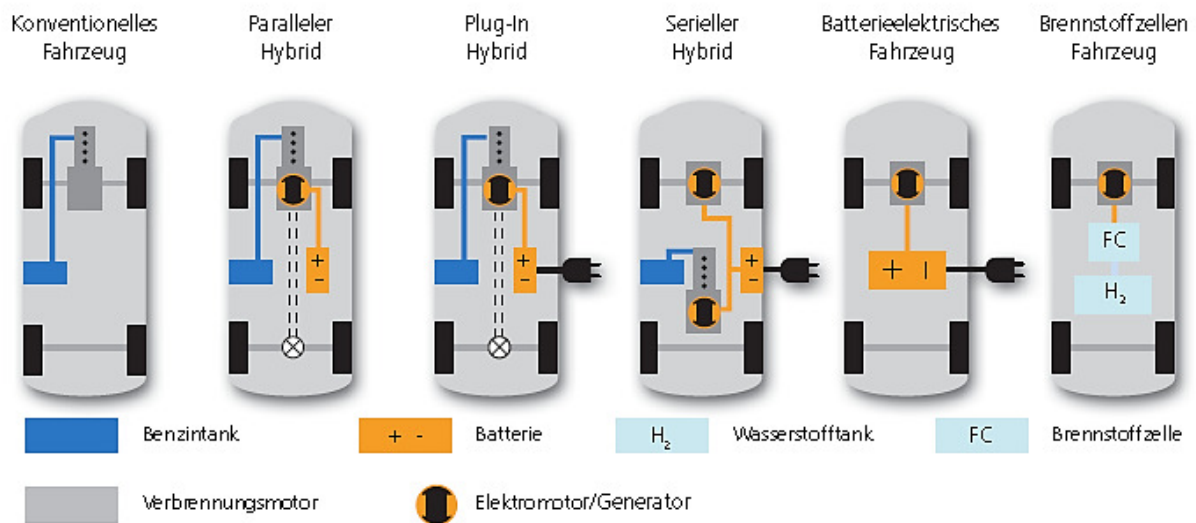


Abbildung 29: Die Vielfalt elektromobiler Antriebskonzepte<sup>60</sup>

Eine Übersicht der verschiedensten Antriebsarten stellt die oben angeführte Abbildung 30 dar. Im Gegensatz zum konventionellen Kraftfahrzeug, arbeiten Hybridautos auf selber Technologiebasis, jedoch wurde diese durch eine Art Energierückgewinnung und Speicherung erweitert, um bei Bedarf auf die gespeicherten Ressourcen zurückzugreifen. Bei reinen batterieelektrischen Autos gibt es nur eine Energiequelle, eine Wiederaufladung durch einen Verbrennungsmotor ist nicht vorgesehen. Fahrzeuge mit Brennstoffzellen werden wie konventionelle Verbrennungsmotoren mit Wasserstoff als Kraftstoff angetrieben. Diese Technologie bietet zwar einen sehr hohen Wirkungsgrad, besser als bei VKM, jedoch mangelt es noch am Reifegrad. Sinnvollerweise wird auch bei dieser Antriebsversion eine Batterie als Energiespeicher eingesetzt.

<sup>60</sup> Vgl. Strukturstudie BWe mobil (2010) S. 6

## 4.1 Elektrofahrzeuge

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Elektrofahrzeugen, die einen Akkumulator mit sich führen und somit von anderen Energiequellen unabhängig sind. Da die Kraftübertragung direkt vom Motor erfolgt, und die Bauweise im Gegensatz zum VKM deutlich kleiner ist, kann der Elektromotor direkt in der Radnabe montiert werden und als Nabenantrieb bei allen vier Rädern genutzt werden. Im Gegensatz zur industriellen Anwendung, müssen Elektromotoren im Fahrbetrieb ein gutes Verhältnis zwischen Gewicht und Leistung aufweisen. Ein hoher Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Leistungsbeanspruchungen sowie Stoßfestigkeit wird vorausgesetzt.<sup>61</sup>

Auf Grund enormer Wertschöpfung, die im Know-how der Batterietechnologie und Batterieherstellung zu finden ist, und ein Teil der gesamten automobilen Wertschöpfung ist, unterscheidet sich die Wertschöpfungskette herkömmlicher Verbrennungsmotoren gegenüber Hybridantrieben und Elektromotoren.

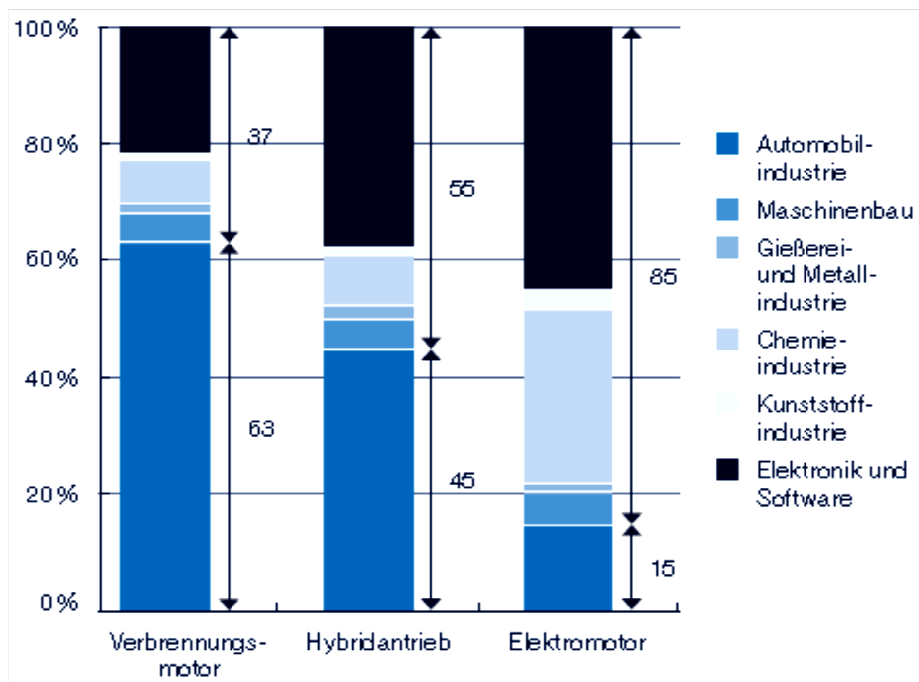


Abbildung 30: Know-how-Verteilung bei Antriebstechnologien<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Vgl. Kretschmer (2010) S. 5

<sup>62</sup> Vgl. Fraunhofer IAO (2010) S. 38

Die Kernkompetenz der Automobilindustrie lag bis dato im Wissen über Verbrennungsmotoren und Getriebe, da auf dieses Know-how bei der Herstellung eines Elektroautos künftig verzichtet werden kann, reduziert sich dieser Wissensanteil von ca. 60 % beim Verbrennungsmotor auf etwa 15 % beim Elektromotor.

Andere Faktoren, wie Leistungsmerkmale und Weiterentwicklung der Batterie nehmen genauso Einfluss auf andere Bereiche. Durch das enorme Gewicht der Akkus, sind konstruktive Lösungen, neue Materialtechnologien und Produktionsverfahren gefragt, um das Gesamtgewicht so gering wie möglich zu halten und die Reichweite auf ein Maximum auszudehnen.<sup>63</sup>

Unter Einfluss des Sicherheitsaspektes gewinnt die chemische Industrie immer mehr an Bedeutung, da im Falle einer Explosion Lebensgefahr durch Freisetzung hoher Energiemengen besteht.

Eine konsequente und partnerschaftliche Zusammenarbeit der Automobilindustrie und Batterieerzeuger ist erforderlich um das „Produkt“ Elektromobilität, kostengünstig und effizient in die Realität umsetzen zu können.

---

<sup>63</sup> Vgl. Fraunhofer IAO (2010) S. 38



### 4.1.1 Arten von Akkumulatoren

Kernstück und Hauptelement des rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugs ist der Energiespeicher.

Das in Abbildung 31 dargestellte Diagramm zeigt die Leistungs- und Energiedichte diverser Batterietechnologien, die generell für den Einsatz in Hybrid- bzw. reinen Elektrofahrzeugen in Frage kommen, und nachfolgend noch detaillierter betrachtet werden.

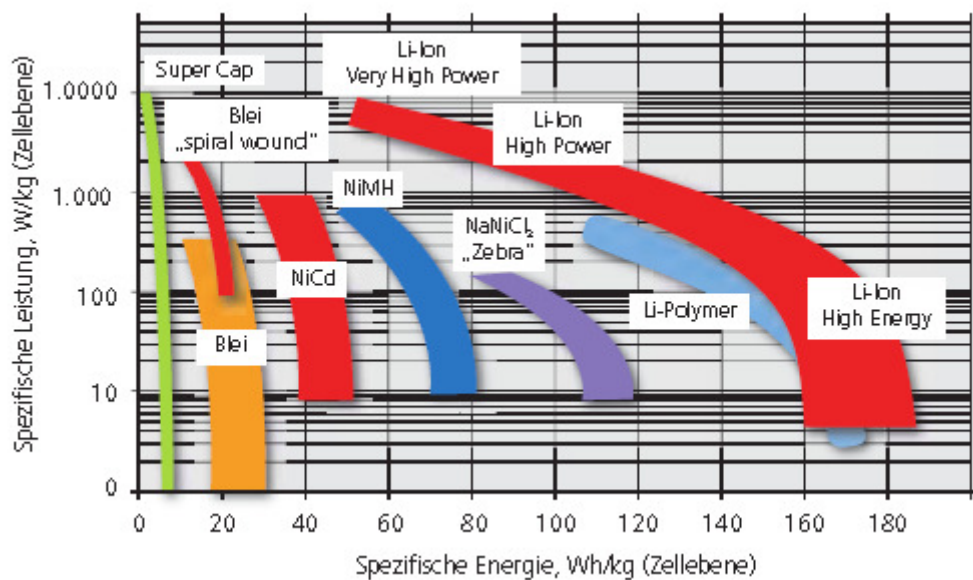


Abbildung 31: Ragone Plott Diagramm<sup>64</sup>

Auffällig ist jetzt schon, dass das Verhältnis der Leistungsdichte in Watt pro Kilogramm zur Energiedichte in Wattstunden pro Kilogramm, die Wahl des Akkus beeinflusst.

<sup>64</sup> Vgl. Strukturstudie BWe mobil (2010) S. 9

#### 4.1.1.1 Lithium-Ionen-Batterie

Lithium weist mehrere Vorteile als Aktivmaterial für elektrochemische Spannungsquellen auf. Zum einen ist es mit einer geringen Dichte von  $0,53 \text{ g/cm}^3$  das leichteste Metall und zum anderen lt. Periodensystem, bezugnehmend auf die Ordnungszahl, nach Wasserstoff und Helium das drittleichteste chemische Element. Die Verfügbarkeit von Lithium-Verbindungen kommt im Gegensatz zu anderen, wertvollen Elementen in mehreren Regionen auf der Erde vor. Das Metall ist neben den positiven Eigenschaften und der Verfügbarkeit auch mit weniger sympathischen Eigenschaften behaftet. Der Einsatz von Lithium in Batterien kann zur Freisetzung von brennbarem Wasserstoff führen, dass auf die Reaktionsfreudigkeit von Lithium mit Wasser zurückzuführen ist. In den 60er Jahren konnten Erfahrungen mit Lithium-Elementen in Primärzellen gesammelt werden. Dabei wurde eine metallische Lithium-Anode und Mangandioxid-Kathode in einem nichtwässrigem Elektrolyt eingesetzt. Gegenüber alt bewährten Zink-/Braunstein-Systemen wurde immerhin eine Netzspannung von 3 Volt erzielt. Heute werden diese hochenergetischen Zellen in Kameras und in der Messtechnik verwendet. Lithium besitzt des Weiteren die Eigenschaft, eine Schutzschicht in geeigneten Elektrolyten zu bilden, um eine Korrosion innerhalb der Zelle zu verhindern. Dadurch kann die Lagerfähigkeit einer Batterie erhöht werden, ohne dabei ihre Ladung zu verlieren.<sup>65</sup>

Eine Verbesserung der Batterieeigenschaften wird durch den Einsatz neuer Materialien für Anode und Kathode erreicht. Heute werden Lithiumeisenphosphat-Zellen in der Automobilindustrie eingesetzt, die einen unkontrollierten Anstieg der Betriebstemperatur verhindern (Thermal Runaway). Aufgrund der enormen Materialkosten für Anode und Kathode, sowie intensivem Produktionsaufwand und Investitionskosten für die erforderlichen Maschinen, summieren sich die Gesamtkosten für die Herstellung von Li-Ionen Fahrzeugzellen.

In Abbildung 32 sind die Kosten unterschiedlicher Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit von 1.500 Ladezyklen graphisch dargestellt. Daraus lässt sich gut erkennen, dass Lithiumeisenphosphat-Batterien eine annähernde Halbierung der Energiedichte gegen-

---

<sup>65</sup> Vgl. Retzbach (2008) S. 125

über Lithiumnickelkobalt-Batterien aufweisen. Auf die Leistungsdichte bezogen wendet sich hier das Blatt – stark erkennbar ist die Abnahme von Lithiumnickelphosphat-Batterien auf etwa 20 %. Die geringsten Kosten sind der Lithiumeisenphosphat-Batterie zuzuordnen.<sup>66</sup>

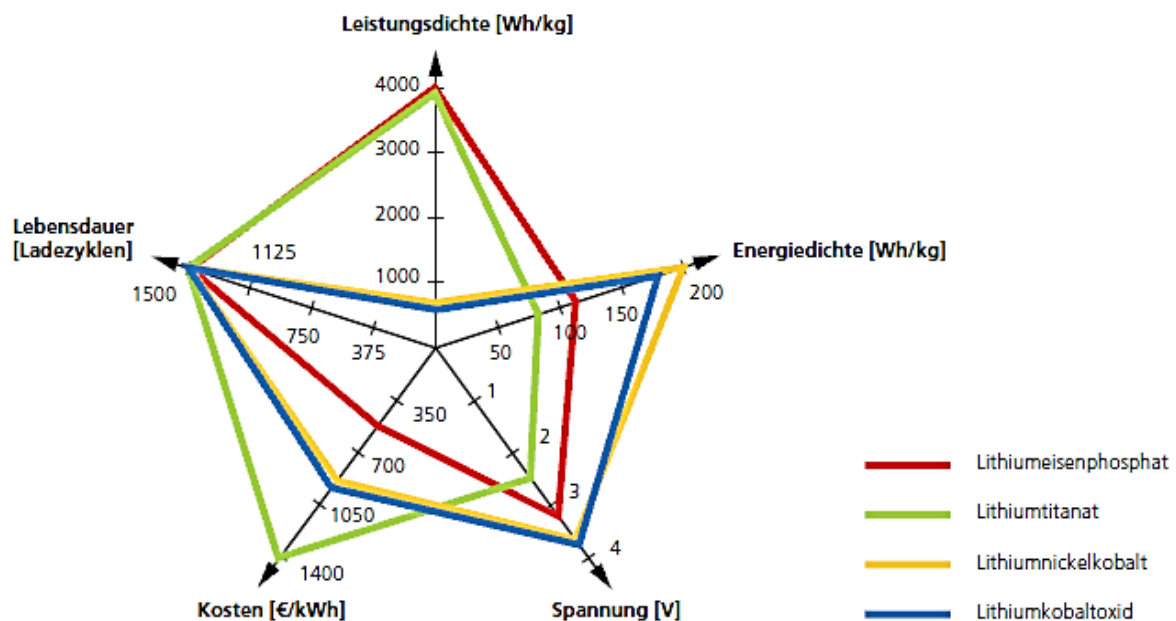


Abbildung 32: Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterietypen<sup>67</sup>

Neben der Energie- und Leistungsdichte einer NiMH-Batterie, zeichnet sich die Lithium-Ionen-Batterie in den spezifischen Kosten aus. Des Weiteren ist diese Batterientechnologie aufgrund des hohen Entwicklungspotentials für Elektrofahrzeuge zu NiMH-Batterien und Bleibatterien eine ökonomische Alternative. Der Einsatz solcher Batterien für einen Zeitraum von 10 Jahren zeigt sich in Zukunft als schwer durchführbar.<sup>68</sup>

<sup>66</sup> Vgl. Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 11 f

<sup>67</sup> Vgl. Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 12

<sup>68</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 46

Ein weiteres Kriterium dieser Batterien ist der Alterungsprozess, der direkt im Zusammenhang mit der Kühlung und Erwärmung der Zellen, sowie den Ladezyklen und der Nutzung steht.

Unterer Punkt	Idealbereich	Oberer Punkt
-20°C	18°C	60°C
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Innerer Widerstand des Elektrolyt steigt</li> <li>– Beschränkte Leistungsabgabe/-aufnahme</li> <li>– Elektrolyt kann einfrieren</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Oxidation und Zersetzung des Elektrolyt (Alterung, Verringerung Lebensdauer, Zyklenfestigkeit, DoD)</li> <li>– Sicherheit (Überhitzung, Kurzschluss, Materialabhängig Thermal Runaway ab +130°C durch Instabilität der SEI Oberflächenpassivierungsschicht)</li> </ul>

Abbildung 33: Wohlfühltemperatur von Batteriezellen<sup>69</sup>

In Abbildung 33 wird die Bedeutung des Thermomanagements bei Lithium-Ionen-Batterie durch ihre Temperaturempfindlichkeit dargestellt. Betriebstemperaturen über 40 Grad Celsius und über 60 °C während der Lagerung sind zu vermeiden, da eine Betriebzellentemperatur von bereits 45 °C den Alterungsprozess erheblich beschleunigt und dadurch die Lebensdauer rapide abnimmt. Temperaturen unter 5 °C reduzieren die möglichen Lade- und Entladezyklen ebenfalls. Zu beachten ist auch noch ein minimaler Temperaturunterschied zwischen und in den einzelnen Zellen. Dieser darf nur wenige Kelvin betragen, damit die bestmögliche Arbeitsweise und höchstmögliche Lebensdauer nicht beeinträchtigt wird.

<sup>69</sup> Vgl. Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 15

#### 4.1.1.2 Nickel-Metallhydrid-Batterie

Im Gegensatz zu herkömmlichen Starterbatterien besitzen NiMH-Batterien eine 10- bis 100-fache höhere Lebensdauer, sind dadurch aber auch um 10- bis 100-mal teurer. Dieser Batterietyp eignet sich durch seine Zyklenfähigkeit und doppelt so hohe Energiedichte gegenüber Bleibatterien, ideal für Vollhybridfahrzeuge. Weniger gut geeignet sind sie für Elektrofahrzeuge aufgrund der limitierten Kaltstartfähigkeit und Maximaltemperatur.<sup>70</sup>

Die Nickel-Metallhydrid-Batterie ist der Nachfolger des Nickel-Cadmium-(NiCd)-Akkus, wobei das gleiche Funktionsprinzip erhalten blieb. Das Hauptproblem beim NiCd-Akkumulator war der Einsatz von metallischem Cadmiums an der Anode. Bei der Weiterentwicklung dieser Akkumulatortechnologie wurde dieses Element durch Wasserstoff ersetzt. Dies reduzierte nicht nur die Herstellungskosten und den Memory Effekt, sondern verlieh diesem modifizierten Akkutypen, durch Zugabe von Magnesium, weit höhere Speicherkapazitäten. Zu seinen Nachteilen gehören längere Ladezeiten und seine Kälteempfindlichkeit.<sup>71</sup>

---

<sup>70</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 96

<sup>71</sup> Vgl. Retzbach (2008) S. 110 ff

#### 4.1.1.3 Supercaps

Beim Prinzip der Doppelschichtkondensatoren wird eine Spannung an zwei in einem Elektrolyt getauchte Kohlenstoffelektroden angelegt, damit elektrische Energie fließen kann. Anhand des Stromflusses setzen sich Ionen des Dielektrikums an der Grenzfläche der Elektroden fest und werden dadurch aufgeladen. Dieses System mit einer Spannung von ca. 3 Volt, funktioniert ähnlich wie ein Kondensator. Supercaps werden eingesetzt, wenn große Leistungen über einen kurzen Zeitraum gespeichert oder bei niedrigen Temperaturen zur Verfügung gestellt werden müssen. Zum Beispiel können in einem Fahrzeug Spitzenlasten eines Antriebes nach Erfordernis aus dem Supercap bereitgestellt werden. Geringe durchschnittliche Lasten können dagegen einer Batterie entnommen werden. Innerhalb von Phasen mit geringer Stromaufnahme durch den Antrieb, werden Supercaps über einen DC/DC-Wandler wieder aufgeladen. Der Vorteil gegenüber Batterien liegt in der verbesserten Leistungsabgabe und Leistungsaufnahme, beträchtlichen Zyklenfestigkeit (ca. 5.000 Zyklen) und hohen Wirkungsgraden. Manko bei dieser Technologie ist die spärliche Energiedichte und horrenden Kosten. In Kooperation mit Lithium-Ionen-Akkumulatoren könnten sie als Unterstützung im „Stop-and-Go“ Verkehr dienen und erstgenannten Akku bei kurzen aber dafür starken Ladevorgängen entlasten.<sup>72</sup>

---

<sup>72</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 60 f

#### 4.1.1.4 Blei-Batterie

Der Pb-Akku basiert auf der Entdeckung von Joseph Sinsteden im Jahre 1854. Obwohl dies schon mehr als 150 Jahre zurück liegt, ist der Einsatz und die Verwendung dieser wiederaufladbaren elektrochemischen Stromquelle unumstritten. Er besticht vor allem durch seine ausgereifte Technik, sehr günstige Kosten, hohe Zellenspannung und fast gänzlicher Recyclbarkeit. Die Wiederaufarbeitung ist deshalb so wirtschaftlich und einfach, da dieser Batterietyp fast ausschließlich aus Blei besteht. Das Anwendungsgebiet erstreckt sich im Bereich der Notstromversorgung bis hin zum Massenprodukt, wie z.B. der Kfz-Starterbatterie. Die geringe Energiedichte von ca. 40 Wh/kg und die begrenzte Lagerfähigkeit im einsatzlosen Zustand stehen den Vorzügen dieses Energiespeichers gegenüber.<sup>73</sup>

---

<sup>73</sup> Vgl. Retzbach (2008) S. 69 f

## 4.1.2 Energiespeichervergleich

Tabelle 6: Energiespeicher im Vergleich<sup>74</sup>

	Wasserstoff / i.V.m. Brennstoffzelle	Li-Ion	SuperCaps	Ni-MH	Blei-Säure
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Energiedichte 3mal so hoch wie Benzin (33,3 kWh/kg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; hohe spez. Energie</li> <li>&gt; hohe Zell-Nennspannung</li> <li>&gt; gute Zyklenfestigkeit und Lebensdauer möglich</li> <li>&gt; kein Memory-Effekt</li> <li>&gt; geringe Selbstentladung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; zuverlässig und robust</li> <li>&gt; hohe kalendarische Lebensdauer</li> <li>&gt; sehr große Leistungsdichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; zuverlässig und robust, tiefentladefähig</li> <li>&gt; lange Standzeit im entladenen Zustand</li> <li>&gt; bei tiefen Temperaturen entladefähig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; niedrige Herstellungskosten</li> <li>&gt; in großen Stückzahlen und Dimensionen verfügbar</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Wirkungsgrad (48%) gering, aber besser als Verbrennungsmotor</li> <li>&gt; Speicherung von Wasserstoff problematisch</li> <li>&gt; Infrastruktur noch nicht vorhanden</li> <li>&gt; hohe Kosten</li> <li>&gt; Wärmeabfuhr der Niedertemperatur-FC problematisch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; hohe Kosten</li> <li>&gt; reaktiv mit Luft und Feuchtigkeit</li> <li>&gt; aufwändiges Batteriemanagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; hohe Selbstentladung</li> <li>&gt; großer Spannungshub</li> <li>&gt; sehr kleine Energiedichte</li> <li>&gt; hoher Überwachungs-aufwand</li> <li>&gt; großes Gefahrenpotential im Abuse-Fall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; hohe Selbstentladung (bei erhöhter Temp.)</li> <li>&gt; schlechte Zykleneffizienz</li> <li>&gt; nur bedingt schnellladefähig</li> <li>&gt; relativ geringe Energiedichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; im allgemeinen geringe Zyklenfestigkeit</li> <li>&gt; nicht tiefentladefähig</li> <li>&gt; niedrige Energiedichte</li> <li>&gt; schlechte Ladezustandserhaltung</li> <li>&gt; geringe Lebensdauer</li> </ul>
<b>Weiterentwicklungsmöglichkeiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Einsatz neuer, kostengünstiger Katalysatoren</li> <li>&gt; Weiterentwicklung Hochtemperatur FC für mobilen Bereich</li> <li>&gt; Einsatz neuer Speichermöglichkeiten für Wasserstoff</li> <li>&gt; kostengünstige und gut verfügbare Verfahren zur Erstellung von Wasserstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; kurzfristige Weiterentwicklungen der Elektrodenmaterialien zur Erhöhung der Speicherdichte, Elektrolyte, Gehäuse zur Verbesserung der Performance und Sicherheit</li> <li>&gt; Batteriemanagement zur Erzielung hoher Lebensdauer und Zyklenzahl bei gleichzeitiger hoher Entladetiefe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Kondensator mit ferroelektrischer keramischer Schicht als Dielektrikum (derzeit noch keine Produkte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Verringerung der Selbstentladung durch verbesserte Separator-materialien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Ersatz der Blei-Anode durch eine Kohlenstoffelektrode (dadurch preiswerter "Batterie-Super-Cap" realisierbar)</li> <li>&gt; kürzere Ladezeiten</li> <li>&gt; höhere Leistungsdichte</li> <li>&gt; verbesserter Zyklenlebensdauer</li> </ul>
<b>Fazit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; gute Eignung für Energiespeicherung und Wandlung im stationären Bereich</li> <li>&gt; mobiler Bereich bisher auf Spezialanwendungen beschränkt</li> <li>&gt; Kostenreduktion notwendig für automobilen Einsatz</li> <li>&gt; kostengünstige und umweltschonende Herstellung von Wasserstoff muss realisiert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; höchstes Potential, allerdings noch hohe Kosten für den Einsatz bei Elektrotraktion</li> <li>&gt; geringe Stückzahl für geringe Anzahl an E-Fahrzeuge zunächst problematisch</li> <li>&gt; optimierte Produktion und Serienreife bei Consumer Products</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Kombination von Super-Caps mit Speichern hoher Energiedichte ist interessant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; aufgrund der relativ geringen Energiedichte, der hohen Selbstentladung und der schlechten schnellladefähig sind Ni-MH-Akkumulatoren nur bedingt für PHEV und BEV geeignet</li> <li>&gt; allerdings ist das System ausgereift und sehr robust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Blei-Säure-Akkus sind aufgrund der geringen Energiedichte und geringer Lebensdauer für PHEV und BEV nicht geeignet</li> </ul>

In Tabelle 6 werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Energiespeicher zusammengefasst. Die Auswahl des Speichers erfolgt je nach Anforderung und Einsatzgebiet. Das höchste Potential in der Elektro-Automobilindustrie besitzt die Lithium-Ionen-Batterie, bezogen auf die Energie- und hohe Leistungsdichte und Zyklenfestigkeit. Bezugnehmend auf die Unterscheidung zwischen Hochenergie- und

<sup>74</sup> Vgl. Eigene Darstellung Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 10



Hochleistungsbatterien hängen diese von der Energie- oder Leistungsdichte ab. Weite Distanzen können nur mit Hilfe Hochenergiebatterien erzielt werden, die bei Elektroautos vordergründig erwünscht sind. Hochleistungsbatterien bieten hingegen eine starke Leistungsaufnahme sowie –abgabe, wie dies beispielsweise bei der Rekuperation von Hybridfahrzeugen erforderlich ist. Weiters wird ersichtlich, dass es momentan noch keinen „Einheitsakku“ gibt, der eine kostengünstige und universelle Anwendung ermöglicht.<sup>75</sup>

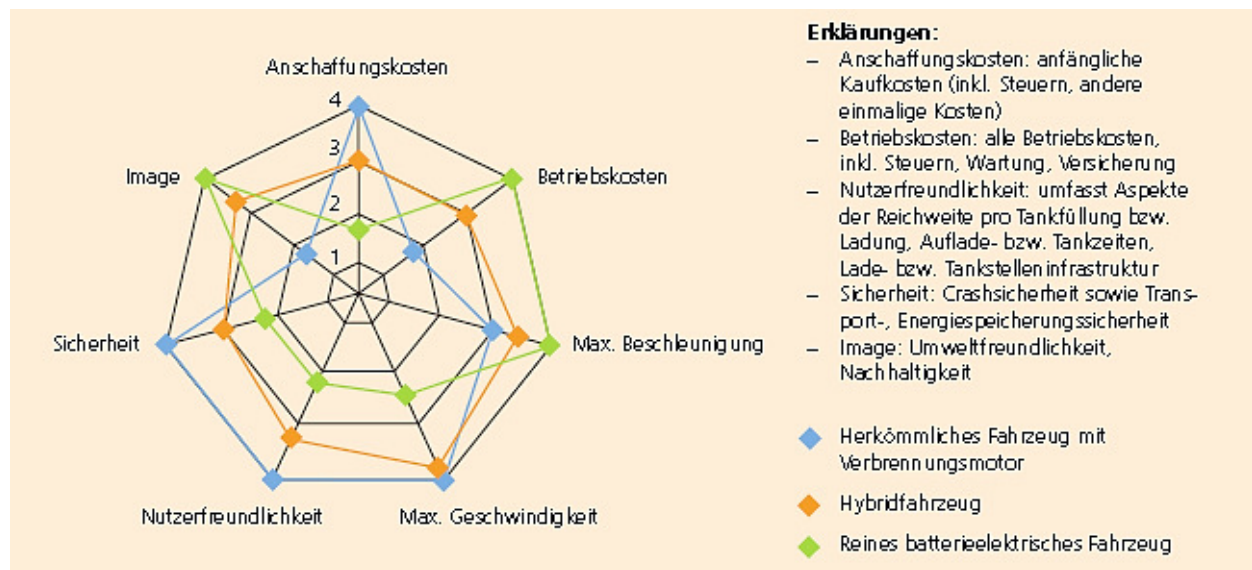


Abbildung 34: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Antriebskonzepte<sup>76</sup>

Vergleicht man ein herkömmliches Fahrzeug mit einem Hybrid- und Elektroauto, können die Vor- und Nachteile, wie in Abbildung 34 zu sehen, dargestellt werden. Die Vorteile elektromobiler Antriebskonzepte liegen in niedrigeren Betriebskosten, exzellenten Beschleunigungswerten und umweltfreundlichem Image. In punkto Sicherheit und Maximalgeschwindigkeit können sie mit einem VKM nicht mithalten.

<sup>75</sup> Vgl. Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 10

<sup>76</sup> Vgl. Strukturstudie BW<sup>e</sup> (2010) S. 29

## 4.2 Brennstoffzelle-Hybrid

Eine Alternative zur Batterie bietet der Wasserstoff, aufgrund seiner hohen Energiedichte. Die Brennstoffzelle ist ein chemisches Kraftwerk, sie erzeugt bei der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff Wärme, Wasser und Strom. Energieträger ist das einfachste und leichteste Element, der Wasserstoff. Zu seinen positiven Eigenschaften zählen seine universelle Einsetzbarkeit und sein unproblematischer Transport. Bei der Verbrennung entstehen keine Emissionen, er verbrennt beinahe wieder vollständig zu seinem Ausgangsprodukt. Darin liegt aber auch das Problem, Wasser gibt es zwar genug auf der Erde, jedoch kommt der Wasserstoff in der Natur praktisch nicht als reines Gas vor. Erst durch Einsatz elektrischer Energie ist die Aufspaltung in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff überhaupt erst möglich. Wie beim Elektroauto stellt sich hier die Frage, woher die Energie kommt. Strom aus Kohle-, Erdöl- oder Erdgaskraftwerken macht aus ökologischer Sicht keinen Sinn, da bei der Stromerzeugung wieder klimaschädliche Emissionen anfallen.<sup>77</sup>

Die Hauptelemente eines Brennstoffzellenautos sind das Brennstoffzellensystem inklusive aller Nebenaggregate zur Erzeugung der elektrischen Leistung, ein entsprechender Energiespeicher, sowie Wasserstoffspeicher und das Elektroantriebssystem. Brennstoffzellenantriebssysteme besitzen gegenüber Verbrennungsmotoren einen deutlich höheren Wirkungsgrad, können aber mit den viel geringeren Anschaffungskosten eines mit fossiler Energie betriebenen Fahrzeuges noch nicht mithalten. Künftig soll das komplette Brennstoffzellensystem einschließlich Wasserstoffspeicher und Elektroantrieb nicht mehr als 40 bis 50 Euro pro Kilowatt Antriebsleistung kosten. Die Erreichung dieses Kostenziels wird gegenwärtig von der Industrie als vorrangig angesehen. Ein weiteres Problem stellt der Wasserspeicher dar, da die auf das Volumen bezogene gespeicherte Energie deutlich geringer ist, als die in einem konventionellen Kraftstoff.<sup>78</sup>

Das Feuchtigkeitsmanagement der Membrane in der Zellenentwicklung, stellt jedoch die größte Herausforderung dar. Die polymerischen Folien müssen einen exakten Feuchtegrad aufweisen, damit ein optimaler Ionentausch möglich ist. Eine zu hohe Feuchtigkeit beeinträchtigt die Komponenten der Zelle und reduziert ihre Lebensdauer

---

<sup>77</sup> Vgl. Vieweg (2010) S. 185

<sup>78</sup> Vgl. Naunin (2007) S. 120 ff

und Leistungsabgabe. Die hohen Kosten und die kurze Lebensdauer von 2.000 bis 3.000 Stunden einer Brennstoffzelle sowie der hohe Energieaufwand der Wasserherstellung sind mitverantwortlich, dass sich diese Technologie bis dato am Markt noch nicht behaupten und durchsetzen können hat.<sup>79</sup>

---

<sup>79</sup> Vgl. Bristela (2010) S. 21

### 4.3 VKM-Hybrid

In Verbindung mit Hybridautos taucht oft der Begriff „Atkinson“ auf. Gemeint ist der gleichnamige Entwickler James Atkinson, der im 19. Jahrhundert einen Motor mit asynchroner Ventilsteuerung fertigte. Der Vorteil ist der geringere Energieverlust bei Ladungswechsel, durch eine Optimierung des thermischen Wirkungsgrades, indem beim Ansaugen und Verdichten die Einlassventile länger geöffnet bleiben. Dadurch kann sich das Gemisch besser verteilen. Eine effizientere Energieausbeute, ein geringerer Kraftstoffverbrauch und reduzierte Abgasemissionen sprechen für dieses spezielle Verbrennungskonzept in Hybridautos.<sup>80</sup>

Es gibt eine Vielzahl an Hybridvarianten. Die Grundfunktion ist jedoch fast immer dieselbe. Ein Verbrennungskraftmotor treibt das Fahrzeug an und erzeugt gleichzeitig Strom mit der eine Batterie aufgeladen wird. Ein Elektromotor schaltet sich bei Bedarf hinzu. Bei Bremsvorgängen wird kinematische Energie in den Energiespeicher zurückgewonnen. Ein reiner elektrischer Betrieb ist möglich, schränkt die Reichweite dieser Fahrzeuge jedoch stark ein. Weitere Systeme ermöglichen ein Aufladen des Akkumulators über das Stromnetz.

Durch diese Technologie kann der Kohlendioxidausstoß nicht gänzlich verhindert werden, aber immerhin sind Einsparungen durch die Kombination mit Elektromotoren und Energierückgewinnung möglich.

---

<sup>80</sup> Vgl. Vieweg (2010) S. 117

## 5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In dieser Betrachtung wird eine monetäre Gegenüberstellung zwischen einem E-Auto und einem vergleichbaren leistungsstarken Verbrennungskraftfahrzeug durchgeführt.

### 5.1 Grundparameter

Für die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ein E-Auto der Marke Mitsubishi und ein konventionelles Verbrennungskraftfahrzeug der Marke Fiat herangezogen.

Die maßgeblichen Grundparameter für das Elektroauto sind aus der folgenden Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Basisdaten E-Auto<sup>81</sup>

technische Daten Elektroauto: Mitsubishi MiEV		Einheit
Gesamtabmessungen (LxBxH)	3.475x1.475x1.610	mm
Radstand	2.550	mm
Spur (vorne/hinten)	1.310/1.270	mm
Bodenfreiheit	150	mm
Leergewicht	1.110	kg
Höchstzul. Gesamtgewicht	1.450	kg
Sitzplätze	4	
Reichweite pro Ladung	150	km
Höchstgeschwindigkeit	130	km/h
Beschleunigung 0-100 km/h	15,9	Sek.
Wendekreisradius	4,4	m
Motortyp	Permanentmagnetischer Synchronmotor	
Max. Motorleistung bei 2.500-8.000 UpM	49/67	kW/PS
Max. Motordrehmoment bei 0-2.000 UpM	180	Nm
Antrieb	Hinterradantrieb	
Batterietyp	Lithium-Ionen	
Batterie Betriebsspannung	330	V
Batterie Energieinhalt	16	kWh
Servicekosten pro Kilometer	-	€/km
Strompreis (Endverbraucher Österreich)	0,2079	€/kWh
Anschaffungskosten inkl. MwSt.	35.900	€
Verbrauch	10	kWh/100km
Lebensdauer bei Fahrleistung 15.000km p.a.	10	Jahre
CO2 Emissionen	0	g/km

<sup>81</sup> Vgl. Eigene Darstellung <http://www.mitsubishi-motors.at/versions.aspx?pmid=98&bodytypeid=2627>

Das für die Analyse herangezogene Elektroauto weist ein Leergewicht von 1.110 kg, eine Reichweite pro Ladung von 150 km und eine maximale Geschwindigkeit von 130 km/h bei einer Beschleunigung von 15,9 s von 0 auf 100 km/h. Als Antrieb dient ein permanentmagnetischer Synchronmotor mit einer Leistung von 67 PS. Als Basis für die weitere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ein Strompreis<sup>82</sup> für eine kWh im Juni 2011 von 0,2079 € für einen durchschnittlichen Haushalt angenommen. Der Verbrauch beträgt laut Herstellerangaben 10 kWh je 100 km. Bei einer unterstellten Fahrleistung von 15.000 km pro Jahr, kann auf Basis von Literaturangaben eine Lebensdauer von 10 Jahren (diese Annahme stellt die optimistische Variante dar, da in der Literatur eine Bandbreite von 5 bis 10 Jahren genannt wird) angenommen werden. Die derzeitigen Kosten für einen Akkumulator werden mit 15.000 € in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt. Die Anschaffungskosten für das Elektrofahrzeug betragen 35.900 € und für das konventionelle Fahrzeug 10.670 €.

Zur transparenten Gegenüberstellung sind in der folgenden Tabelle 8 alle Basisgrößen für das Referenzauto ersichtlich.

---

<sup>82</sup> Vgl. <http://www.energy.eu/#Domestic-Elec>

Tabelle 8: Basisdaten VKM<sup>83</sup>

technische Daten VKM: Fiat Panda 1.2 69 (4x2)		Einheit
Gesamtabmessungen (LxBxH)	3.538x1.589x1.540	mm
Radstand	2.299	mm
Spur (vorne/hinten)	n.A.	mm
Bodenfreiheit	n.A.	mm
Leergewicht	860	kg
Höchstzul. Gesamtgewicht	n.A.	kg
Sitzplätze	5	
Tankinhalt	35	l
Höchstgeschwindigkeit (NEDC)	162	km/h
Beschleunigung 0-100 km/h	13,4	Sek.
Wendekreisradius	9,1	m
Motortyp	4-Zylinder Benzinmotor	
Max. Motorleistung bei 5.500 UpM	50/69	kW/PS
Max. Motordrehmoment bei 3.000 UpM	102	Nm
Antrieb	Vorderradantrieb	
Servicekosten alle 15.000 Kilometer	200	€
Servicekosten alle 90.000 Kilometer	100	€
Benzinpreis (Endverbraucher Österreich)	1,37	€/litr.
Anschaffungskosten inkl. MwSt.	10.670	€
Verbrauch	4,8	l/100km
Fahrleistung p.a.	15.000	km
CO2 Emissionen	110	g/km
NOx Emissionen	0,019	g/km

Das Referenzauto weist ein Leergewicht von 860 kg und eine maximale Geschwindigkeit von 162 km/h bei einer Beschleunigung von 13,4 s von 0 auf 100 km/h. Als Antrieb dient ein 4-Zylinder Benzinmotor mit einer Leistung von 69 PS (das E-Auto hat eine vergleichbare Leistung von 67 PS). Als Basis für die weitere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ein Benzinpreis<sup>84</sup> für einen Liter im Februar 2012 von 1,37 € angenommen. Der durchschnittliche Verbrauch beträgt laut Herstellerangaben 4,8 Liter je 100 km. Abweichend vom E-Auto (Servicekosten fallen kaum an, da bspw. kein Ölwechsel, Zahnriementausch, Zündkerzenwechsel, diverse Filter und andere Flüssigkeiten gemacht werden muss) werden Servicekosten von 200 € für alle 15.000 km sowie zusätzliche Servicekosten von 100 € für alle 90.000 km angenommen.

Die Kosten für die Versicherungen wurden auf Basis von konkreten Angeboten eruiert und belaufen sich für das E-Auto auf 168,49 € p.a. und für die VKM auf 470,83 € p.a.

<sup>83</sup> Vgl. <http://www.fiat.at>

<sup>84</sup> Vgl. <http://www.energy.eu/#Domestic-Elec>

Der Unterschied resultiert primär aus dem Wegfall der motorbezogenen Steuer für das E-Auto und dem höheren Nachlass bei E-Autos von Seiten der Versicherungen. Jene Kosten, die bei beiden Varianten anfallen, z.B. Verschleiß von Autoreifen, werden nicht gesondert in der Analyse betrachtet.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird zudem unterstellt, dass bei jener Variante, bei welcher die geringeren Kosten anfallen, diese Einsparungen mit einem Zinssatz von 2,5 % verzinst werden können.



## 5.2 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 1

Die Variante 1 reflektiert die gegenwärtige Situation. Dabei wird der durchschnittliche Anstieg des Strompreises der letzten 25 Jahre und des Benzinpreises der letzten 20 Jahre mit identischer Steigerungsrate in die Zukunft projiziert. Die Preissteigerung für elektrischen Strom beträgt durchschnittlich 2,10 % und die für Benzin 3,23 % pro Jahr.

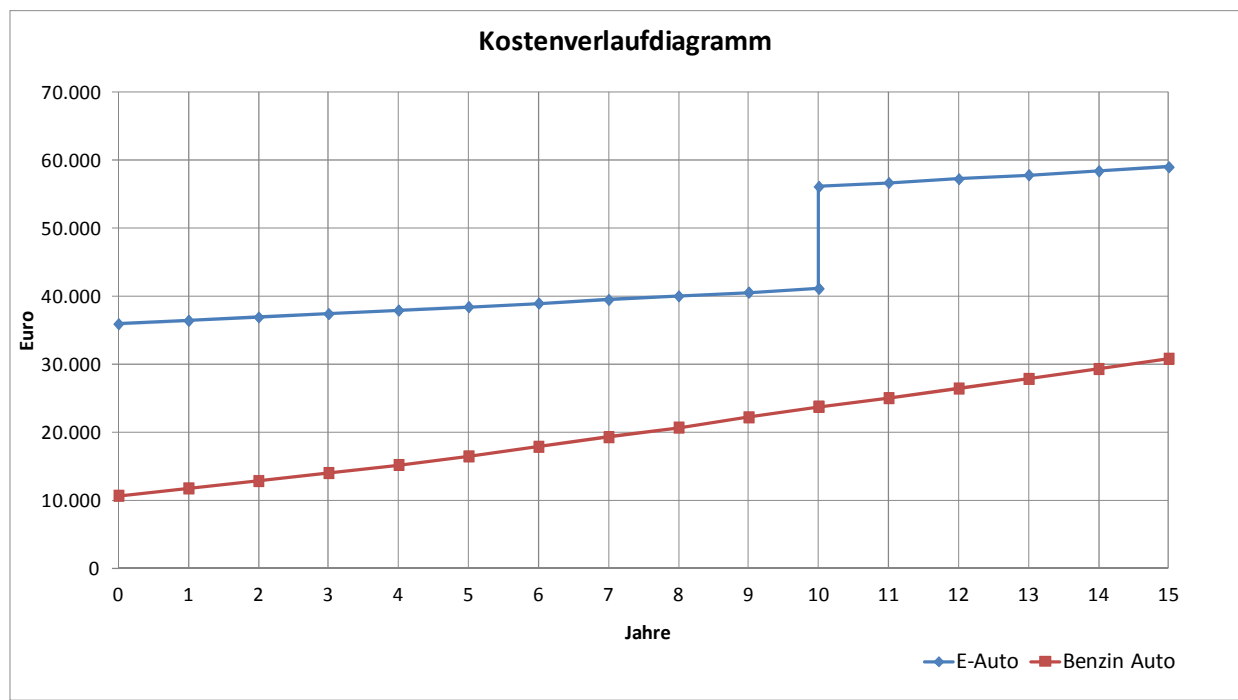


Abbildung 35: Kostenverlauf Variante 1

Wie aus Abbildung 35 zu entnehmen ist, sind die laufenden Kosten des Elektrofahrzeuges geringer. Im zehnten Jahr springen die Kosten, wegen des Akkutaushaus stark nach oben. Jedoch ist bei der Betrachtung der Gesamtkostensituation der Benzinmotor weit- aus wirtschaftlicher.

### 5.3 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 2

Wie in Kapitel 2.1.1 erläutert, wird in der Variante 2 unterstellt, dass es keinen moderaten Anstieg analog Variante 1 geben wird, sondern auf Grund der knapper werdenden Ressourcen der Ölpreis im Jahr 2020 bereits 250 \$/bl betragen wird. Zum Stand Februar 2012 betrug der Rohölpreis 111,20 \$/bl, sodass mit einer jährlichen Steigerung von ca. 12,5 % zu rechnen ist. Mit der Annahme dass die Verarbeitungskosten für Kraftstoffe ähnlich hoch bleiben, ergibt sich auch für den Kraftstoff eine Preissteigerung von 12,5 % pro Jahr. Der Strompreisanstieg wird analog zu Variante 1 angenommen.

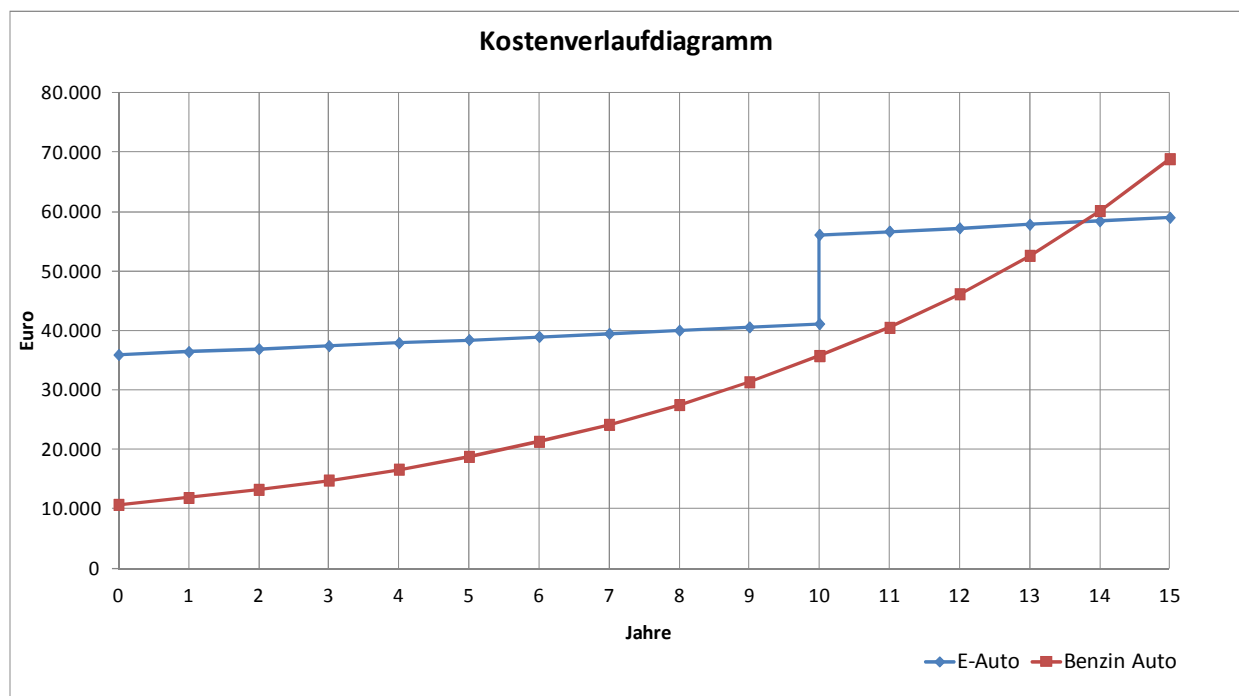


Abbildung 36: Kostenverlauf Variante 2

Abbildung 36 weist einen Schnittpunkt zwischen dem 13. und 14. Jahr auf. Bis zu diesem Zeitpunkt ist das mit fossilem Brennstoff betriebene Fahrzeug erkennbar günstiger. Erst nach dem 13. Betriebsjahr ergibt sich eine wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit für das E-Auto.

## 5.4 Prognostizierter Kostenverlauf Variante 3

In dieser Variante 3 wird eine vermehrte Nachfrage nach Elektrofahrzeugen unterstellt, welche eine markante Preisreduktion für die Anschaffung zur Folge hat. Die Gesamtkosten werden um die Hälfte, und die Kosten für den Akkumulator um 2/3 reduziert. Die Kosten für die Betriebsmittel sind analog der Variante 2.

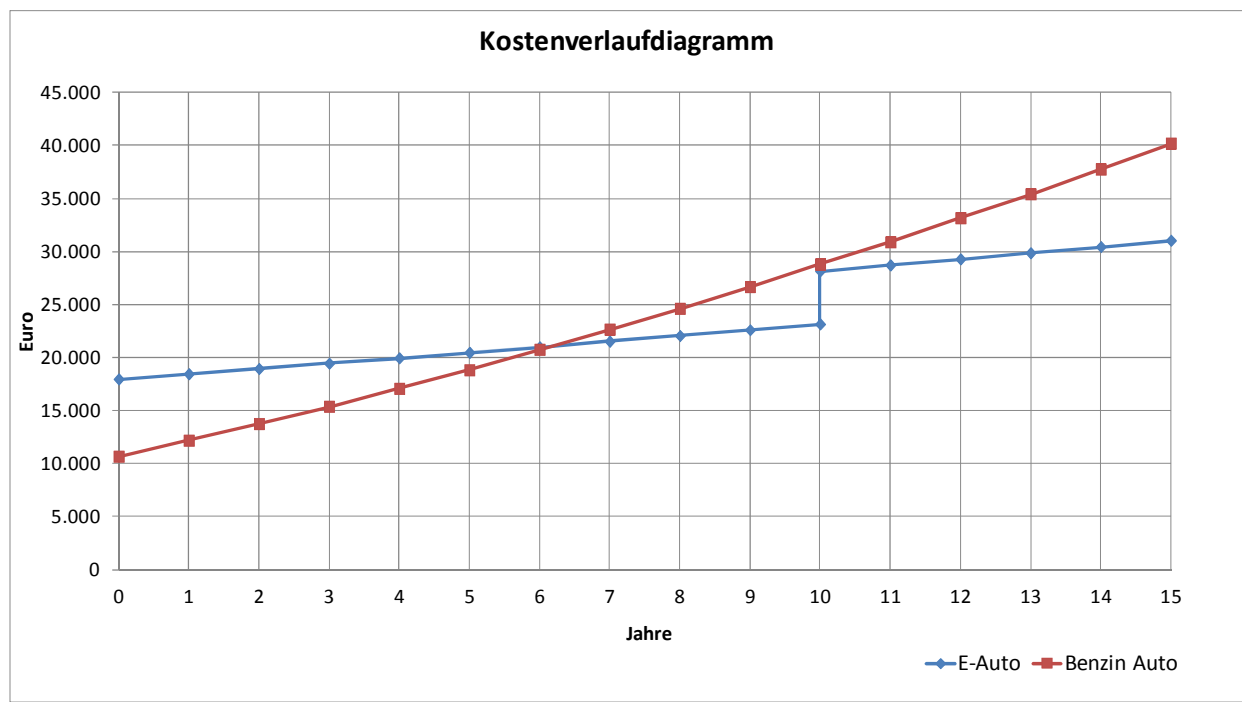


Abbildung 37: Kostenverlauf Variante 3

Mit diesen Annahmen, sehr günstige Anschaffungskosten des Elektroautos, hohe fossile Kraftstoffkosten und relativ niedrige Stromkosten, ist das E-Auto ab dem 6. Jahr wirtschaftlicher. Ab diesem Zeitpunkt kompensieren die geringeren Betriebskosten die höheren Anschaffungskosten des E-Autos soweit, dass trotz eines Akkumulatorswechsels im 10. Jahr das batteriebetriebene Fahrzeug knapp wirtschaftlicher bleibt.

## 6 Schlussbemerkung und Ausblick

Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überhaupt erst durchführen zu können, wurden die wichtigsten Parameter, wie Ressourcenverfügbarkeit und damit eventuell verbundene Preissteigerungen untersucht. Hauptaugenmerk wurde dabei auf den globalen Primärenergieverbrauch und den weltweiten Energiebedarf gelegt, sowie die Analyse ihrer zukünftigen Entwicklung. In den letzten Jahren stieg der Rohölbedarf extrem an, dies ist auf die wachsende Industrie und Bevölkerung zurück zu führen. Da Ressourcen nicht unendlich zur Verfügung stehen, wird man früher als später gezwungen sein, auf alternative Energiequellen und nachhaltige Fortbewegungsmittel umzusteigen. Hochrechnungen zeigen, dass die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 rapide ansteigen werden. In Folge dessen ändert sich unser Klima. Sollte es nicht gelingen in Zukunft die globale Erwärmung auf einem konstanten Niveau zu halten, werden die Meeresspiegel steigen und unser Leben dadurch stark beeinflussen. Ein Ansatz, um dieses Horrorszenario zu verhindern, wäre der Einsatz von nachhaltig betriebenen Elektrofahrzeugen, da besonders der Verkehr weltweit ein Klimasünder ist. Vor allem in Großstädten ist dies ein großer Fortschritt, da durch den Betrieb der Elektroautos keine lokalen, schädlichen Emissionen emittiert werden und damit die Smogbelastung geringer gehalten werden kann.

In der wirtschaftlichen Betrachtung wurden mehrere Varianten aufgezeigt, um festzustellen ob, bzw. unter welchen Voraussetzungen das Elektrofahrzeug ökonomischer sein kann, als ein konventionelles Auto.

Aus heutiger Sicht, rechnen sich batteriebetriebene Autos überhaupt nicht. Grund dafür sind die eklatant hohen Anschaffungskosten, sowie die hohen Kosten des Energiespeichers und der zu geringe Vorteil der laufenden Betriebskosten (Strom gegenüber Kraftstoff). Erst wenn in Zukunft die Ölreserven knapp werden und dadurch die Kraftstoffe sich extrem verteuern, kann das E-Auto bei gleichzeitiger starker Verbilligung der Anschaffungskosten und moderaten Strompreissteigerungen wirtschaftlich werden. Natürlich wird die Erzeugung und die Bereitstellung von genügend sauberer bzw. erneuerba-

---

rer elektrischer Energie die große Herausforderung der Zukunft sein. Die dazu erforderlichen Technologien gibt es bereits, es geht nur um den politischen Willen der Umsetzung.

Wenn gleich das rein batteriebetriebene Fahrzeug gegenüber einem kraftstoffbetriebenen Fahrzeuges derzeit noch viel zu teuer ist, wird es aus Umweltschutzgründen, speziell in Ballungszentren, mit Sicherheit schon in naher Zukunft immer stärker zum Einsatz kommen.

## Literaturverzeichnis

### **Bücher:**

- (1) Naunin, Dietrich: Bader, Christian: Biermann, Jan-Welm: "...": Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge. - 4.Aufl. - Renningen: expert, 2007
- (2) Retzbach, Ludwig: Akkus und Ladetechniken. - 1.Aufl. - Poing: Franzis, 2008
- (3) Vieweg, Christof: E-Autos So fahren wir in die Zukunft. - 1.Aufl. - Bielefeld: Delius Klasnig, 2010

### **Fachartikel:**

- (4) ExxonMobil: Oeldorado 2009. - Hamburg: ExxonMobil Central Europe, 2009
- (5) International Energy Agency: Key World Energy Statistics. - Paris: OECD/IEA, 2009
- (6) Kaiser, Oliver: Meyer, Sarah: Schippl, Jens: Elektromobilität ITA-Kurzstudie. - Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, 2011
- (7) Pötscher, Friedrich: Winter, Ralf, Lichtblau, Günter: Elektromobilität in Österreich Szenario 2020 und 2050. - Report 0257 - Wien: Umweltbundesamt, 2010
- (8) Schindler, Jörg: Zittel, Werner: Zukunft der weltweiten Erdölversorgung. - Ottonbrunn: Energy Watch Group, 2008
- (9) Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil: Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität. - Stuttgart: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2010
- (10) Wietschel, Martin: Arens, Marlene: Dötsch, Christian: Energietechnologien 2050 - Schwerpunkt für Forschung und Entwicklung. - Stuttgart: Fraunhofer, 2010

---

**Hochschulschriften:**

- (11) Bristela, Marie-Theres: Stand der Technik bei Elektromobilität. - 2010. - 108 S.  
Wien, Universität für Bodenkultur, Umwelt- und Bioressourcenmanagement, Diplomarbeit, 2010

**Internetquellen:**

- (12) Bmvit : Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche für den Nationalen Einführungsplan Elektromobilität. [http://www.bmvit.gv.at/innovation/downloads/einfuehrungsplan\\_elektromobilitaet.pdf](http://www.bmvit.gv.at/innovation/downloads/einfuehrungsplan_elektromobilitaet.pdf), März 2010
- (13) Bmwfi : Wissenswerte Auszüge aus Energiestatus Österreich 2010 und Stromkennzeichnungsbericht 2010. [http://www.mechatroniker-ooe.at/fileadmin/uploads/ooe/Recht\\_und\\_Statistiken/Kaeltetchnik/Information\\_fuer\\_den\\_Kaelte\\_-\\_Klima\\_-\\_und\\_Waermepumpenbauer\\_\\_Nr.\\_20\\_\\_15.01.2011.pdf](http://www.mechatroniker-ooe.at/fileadmin/uploads/ooe/Recht_und_Statistiken/Kaeltetchnik/Information_fuer_den_Kaelte_-_Klima_-_und_Waermepumpenbauer__Nr._20__15.01.2011.pdf), verfügbar am 22.03.2011
- (14) e-connected <office@klimafonds.gv.at> : Abschlussbericht e-connected I. <http://www.e-connected.at/content/abschlussbericht-e-connected-0>, November 2009
- (15) e-connected <office@klimafonds.gv.at> : Abschlussbericht e-connected I. <http://www.e-connected.at/content/abschlussbericht-e-connected-ii>, Dezember 2010
- (16) e-control : Stromkennzeichnungsbericht. <http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/stromkennzeichnungsbericht-2010-final.pdf>, verfügbar am 15.01.2011
- (17) Fraunhofer IAO : Elektromobilität Herausforderung für Industrie und öffentliche Hand. <http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf>, Juni 2010
- (18) Kretschmer, Marwin : Elektromobilität - eine Technologie der Zukunft? [http://www.facharbeitenzusammenstellung.lima-city.de/Elektromobilitaet\\_Marwin\\_Kretschmer.pdf](http://www.facharbeitenzusammenstellung.lima-city.de/Elektromobilitaet_Marwin_Kretschmer.pdf), verfügbar am 23.07.2011

- 
- (19) NOW <kontakt@now-gmbh.de> : Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa - Eine faktenbasierende Analyse. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-Mediathek/RE\\_Publikationen\\_NOW/NOW\\_Portfolio\\_von\\_Antriebssystemen\\_fuer\\_Europa.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Mediathek/RE_Publikationen_NOW/NOW_Portfolio_von_Antriebssystemen_fuer_Europa.pdf), verfügbar am 15.10.2010
- (20) NPE : Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/60020/publicationFile/31717/elektromobilitaet-zwischenbericht.pdf>, November 2010
- (21) Pfaffenbichler, Christian : Pre-Feasibility-Studie zu "Markteinführung Elektromobilität in Österreich". [http://www.bmvit.gv.at/innovation/downloads/markteinfuehrung\\_elektromobilitaet1.pdf](http://www.bmvit.gv.at/innovation/downloads/markteinfuehrung_elektromobilitaet1.pdf), August 2009
- (22) Weyerstrass, Klaus <klaus.weyerstrass@ihs.ac.at> ; Jaenicke, Johannes; Schönpflug, Karin : Künftige Entwicklungen der Energiepreise. [http://www.uni-erfurt.de/fileadmin/user-docs/Juniorprofessur\\_Oekonometrie/Energiepreise.pdf](http://www.uni-erfurt.de/fileadmin/user-docs/Juniorprofessur_Oekonometrie/Energiepreise.pdf), verfügbar am 14.10.2011



## Anhang

Anhang 1: Berechnungsmodell Variante 1

Anhang 2: Berechnungsmodell Variante 2

Anhang 3: Berechnungsmodell Variante 3

## Anhang 1:

E-Auto: Berechnungsmodell Variante 1									
Jahr	Stromkosten	Index	Stromkosten inkl. Indexanpassung	Km Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Kum. Kosten
0	0,0208	1	0,0208	0	0,00	0,00			35.900,00
1		1,021	0,0212	15.000	318,40	318,40		168,49	36.386,89
2		1,021	0,0217	30.000	325,09	643,48		168,49	36.880,46
3		1,021	0,0221	45.000	331,91	975,40		168,49	37.380,87
4		1,021	0,0226	60.000	338,88	1.314,28		168,49	37.888,24
5		1,021	0,0231	75.000	346,00	1.660,28		168,49	38.402,73
6		1,021	0,0236	90.000	353,26	2.013,54		168,49	38.924,48
7		1,021	0,0240	105.000	360,68	2.374,22		168,49	39.453,65
8		1,021	0,0246	120.000	368,26	2.742,48		168,49	39.990,40
9		1,021	0,0251	135.000	375,99	3.118,47		168,49	40.534,88
10		1,021	0,0256	150.000	383,89	3.502,36	15.000	168,49	41.087,26
11		1,021	0,0261	165.000	391,95	391,95		168,49	56.647,70
12		1,021	0,0267	180.000	400,18	792,13		168,49	57.216,37
13		1,021	0,0272	195.000	408,58	1.200,71		168,49	57.793,44
14		1,021	0,0278	210.000	417,16	1.617,87		168,49	58.379,09
15		1,021	0,0284	225.000	425,92	2.043,80		168,49	58.973,51

Benzin Auto: Berechnungsmodell Variante 1											
Jahr	Spritpreis	Index	Spritpreis inkl. Indexanpassung	KM Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Basis für Zinsberechnung	Zinserträge	Kum. Kosten
0	0,0658	1	0,0658	0	0,00						10.670,00
1		1,032	0,0679	15.000	1.018,26	1.018,26	200	470,83	25.230,00	630,75	11.728,34
2		1,032	0,0701	30.000	1.051,15	2.069,41	200	470,83	24.658,55	616,46	12.833,86
3		1,032	0,0723	45.000	1.085,10	3.154,51	200	470,83	24.046,61	601,17	13.988,63
4		1,032	0,0747	60.000	1.120,15	4.274,67	200	470,83	23.392,24	584,81	15.194,80
5		1,032	0,0771	75.000	1.156,33	5.431,00	200	470,83	22.693,44	567,34	16.454,63
6		1,032	0,0796	90.000	1.193,68	6.624,68	300	470,83	21.948,10	548,70	17.870,44
7		1,032	0,0821	105.000	1.232,24	7.856,92	200	470,83	21.054,05	526,35	19.247,15
8		1,032	0,0848	120.000	1.272,04	9.128,96	200	470,83	20.206,50	505,16	20.684,86
9		1,032	0,0875	135.000	1.313,13	10.442,08	200	470,83	19.305,54	482,64	22.186,18
10		1,032	0,0904	150.000	1.355,54	11.797,62	200	470,83	18.348,71	458,72	23.753,83
11		1,032	0,0933	165.000	1.399,32	13.196,95	200	470,83	32.333,43	808,34	25.015,65
12		1,032	0,0963	180.000	1.444,52	14.641,47	300	470,83	31.632,05	790,80	26.440,20
13		1,032	0,0994	195.000	1.491,18	16.132,65	200	470,83	30.776,17	769,40	27.832,80
14		1,032	0,1026	210.000	1.539,35	17.671,99	200	470,83	29.960,64	749,02	29.293,96
15		1,032	0,1059	225.000	1.589,07	19.261,06	200	470,83	29.085,13	727,13	30.826,73

## Anhang 2:

E-Auto: Berechnungsmodell Variante 2									
Jahr	Stromkosten	Index	Stromkosten inkl. Indexanpassung	Km Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Kum. Kosten
0	0,02079	1	0,0208	0	0,00				35.900,00
1		1,021	0,0212	15.000	318,40	318,40		168,49	36.386,89
2		1,021	0,0217	30.000	325,09	643,48		168,49	36.880,46
3		1,021	0,0221	45.000	331,91	975,40		168,49	37.380,87
4		1,021	0,0226	60.000	338,88	1.314,28		168,49	37.888,24
5		1,021	0,0231	75.000	346,00	1.660,28		168,49	38.402,73
6		1,021	0,0236	90.000	353,26	2.013,54		168,49	38.924,48
7		1,021	0,0240	105.000	360,68	2.374,22		168,49	39.453,65
8		1,021	0,0246	120.000	368,26	2.742,48		168,49	39.990,40
9		1,021	0,0251	135.000	375,99	3.118,47		168,49	40.534,88
10		1,021	0,0256	150.000	383,89	3.502,36	15.000	169,49	41.088,26
11		1,021	0,0261	165.000	391,95	391,95		168,49	56.648,70
12		1,021	0,0267	180.000	400,18	792,13		168,49	57.217,37
13		1,021	0,0272	195.000	408,58	1.200,71		168,49	57.794,44
14		1,021	0,0278	210.000	417,16	1.617,87		168,49	58.380,09
15		1,021	0,0284	225.000	425,92	2.043,80		168,49	58.974,51

Benzin Auto: Berechnungsmodell Variante 2											
Jahr	Spritpreis	Index	Spritpreis inkl. Indexanpassung	KM Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Basis für Zinsberechnung	Zinserträge	Kum. Kosten
0	0,0658	1	0,0658	0	0,00						10.670,00
1		1,15	0,0756	15.000	1.134,36	1.134,36	200	470,83	25.230,00	630,75	11.844,44
2		1,15	0,0870	30.000	1.304,51	2.438,87	200	470,83	24.542,45	613,56	13.206,22
3		1,15	0,1000	45.000	1.500,19	3.939,07	200	470,83	23.674,24	591,86	14.785,39
4		1,15	0,1150	60.000	1.725,22	5.664,28	200	470,83	22.595,48	564,89	16.616,55
5		1,15	0,1323	75.000	1.984,00	7.648,29	200	470,83	21.271,69	531,79	18.739,59
6		1,15	0,1521	90.000	2.281,60	9.929,89	300	470,83	19.663,14	491,58	21.300,45
7		1,15	0,1749	105.000	2.623,84	12.553,73	200	470,83	17.624,04	440,60	24.154,52
8		1,15	0,2012	120.000	3.017,42	15.571,15	200	470,83	15.299,14	382,48	27.460,29
9		1,15	0,2313	135.000	3.470,03	19.041,19	200	470,83	12.530,11	313,25	31.287,90
10		1,15	0,2660	150.000	3.990,54	23.031,73	200	470,83	9.246,98	231,17	35.718,09
11		1,15	0,3059	165.000	4.589,12	27.620,84	200	470,83	20.370,17	509,25	40.468,79
12		1,15	0,3518	180.000	5.277,49	32.898,33	300	470,83	16.179,91	404,50	46.112,61
13		1,15	0,4046	195.000	6.069,11	38.967,44	200	470,83	11.104,76	277,62	52.574,93
14		1,15	0,4653	210.000	6.979,48	45.946,92	200	470,83	5.219,51	130,49	60.094,75
15		1,15	0,5351	225.000	8.026,40	53.973,31	200	470,83	-1.714,65	-42,87	68.834,84

## Anhang 3:

E-Auto: Berechnungsmodell Variante 3									
Jahr	Stromkosten	Index	Stromkosten inkl. Indexanpassung	Km Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Kum. Kosten
0	0,02079	1	0,0208	0	0,00				17.950,00
1		1,021	0,0212	15.000	318,40	318,40		168,49	18.436,89
2		1,021	0,0217	30.000	325,09	643,48		168,49	18.930,46
3		1,021	0,0221	45.000	331,91	975,40		168,49	19.430,87
4		1,021	0,0226	60.000	338,88	1.314,28		168,49	19.938,24
5		1,021	0,0231	75.000	346,00	1.660,28		168,49	20.452,73
6		1,021	0,0236	90.000	353,26	2.013,54		168,49	20.974,48
7		1,021	0,0240	105.000	360,68	2.374,22		168,49	21.503,65
8		1,021	0,0246	120.000	368,26	2.742,48		168,49	22.040,40
9		1,021	0,0251	135.000	375,99	3.118,47		168,49	22.584,88
10		1,021	0,0256	150.000	383,89	3.126,37	5.000	168,49	23.137,26
11		1,021	0,0261	165.000	391,95	391,95		168,49	28.697,70
12		1,021	0,0267	180.000	400,18	792,13		168,49	29.266,37
13		1,021	0,0272	195.000	408,58	1.200,71		168,49	29.843,44
14		1,021	0,0278	210.000	417,16	1.617,87		168,49	30.429,09
15		1,021	0,0284	225.000	425,92	2.043,80		168,49	31.023,51

Benzin Auto: Berechnungsmodell Variante 3											
Jahr	Spritpreis	Index	Spritpreis inkl. Indexanpassung	KM Leistung	Variabel	Kum. Variabel	Servicekosten	Versicherungskosten	Basis für Zinsberechnung	Zinserträge	Kum. Kosten
0	0,0658	1	0,0658	0	0,00						10.670,00
1		1,0323	0,0679	15.000	1.018,26	1.018,26	200	470,83	7.280,00	182,00	12.177,09
2		1,0323	0,0701	30.000	1.051,15	2.069,41	200	470,83	6.259,80	156,49	13.742,58
3		1,0323	0,0723	45.000	1.085,10	3.154,51	200	470,83	5.187,89	129,70	15.368,81
4		1,0323	0,0747	60.000	1.120,15	4.274,67	200	470,83	4.062,05	101,55	17.058,24
5		1,0323	0,0771	75.000	1.156,33	5.431,00	200	470,83	2.880,00	72,00	18.813,40
6		1,0323	0,0796	90.000	1.193,68	6.624,68	300	470,83	1.639,32	40,98	20.736,93
7		1,0323	0,0821	105.000	1.232,24	7.856,92	200	470,83	237,55	5,94	22.634,06
8		1,0323	0,0848	120.000	1.272,04	9.128,96	200	470,83	-1.130,41	-28,26	24.605,19
9		1,0323	0,0875	135.000	1.313,13	10.442,08	200	470,83	-2.564,79	-64,12	26.653,27
10		1,0323	0,0904	150.000	1.355,54	11.797,62	200	470,83	-4.068,38	-101,71	28.781,35
11		1,0323	0,0933	165.000	1.399,32	13.196,95	200	470,83	-644,09	-16,10	30.867,60
12		1,0323	0,0963	180.000	1.444,52	14.641,47	300	470,83	-2.169,90	-54,25	33.137,20
13		1,0323	0,0994	195.000	1.491,18	16.132,65	200	470,83	-3.870,84	-96,77	35.395,98
14		1,0323	0,1026	210.000	1.539,35	17.671,99	200	470,83	-5.552,54	-138,81	37.744,97
15		1,0323	0,1059	225.000	1.589,07	19.261,06	200	470,83	-7.315,88	-182,90	40.187,77

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen wurde. Zudem versichere ich, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version der Arbeit übereinstimmt.

Graz, 15.02.2012

---

Chris Rezek